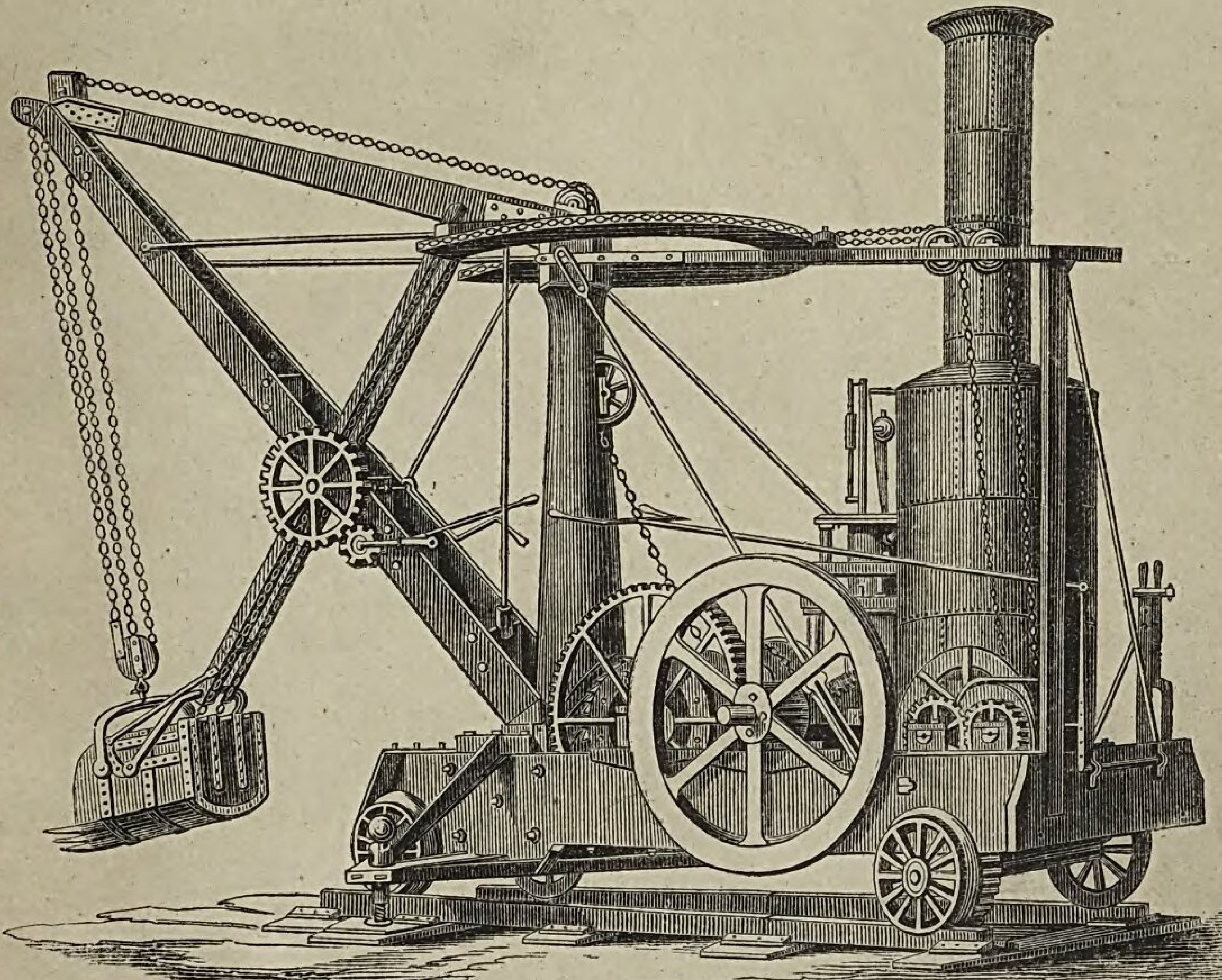
Fr. Luckenbacher's

Schule der Mechanik und Maschinenkunde.



Mit
über 200 in den Text gedruckten Abbildungen.

Verlag von Otto Spamer in Leipzig.

B. Aus dem Gebiete der Länder- und Völkerkunde.

In Vorbereitung auf das Jahr 1857 befindet sich:

Das Buch der Reisen und der denkwürdigsten Entdeckungen.

Bearbeitet von **Friedrich Körner.** Mit vielen Tondruckbildern und etwa 120 in den Text gedruckten Abbildungen. In 2 Bänden oder 15—18 Heften.

Zeigen die Bände der ersten Serie der Malerischen Feierstunden dem Leser im „Buch der Erfindungen und Gewerbe" eine Rundschau über den Fortschritt auf dem Gebiete des gewerblichen und technischen Lebens, dem heutigen Standpunkt des Handwerkers zur Kunst, im „Buch der Reisen" mannichfache Bilder aus Nähe und Ferne zur Bereicherung seiner Kenntnisse im Gebiete der Länder- und Völkerkunde in lebensvoller Darstellung, so behandelt die zweite Serie in einer Reihe populärer Lehrbücher Stoffe, welche in der Gegenwart durch ihre Wichtigkeit für's Leben eine Bedeutung erlangt haben, oder welche jene Wißbegierde, die nie aufgehört hat, sich in den gebildeteren Kreisen geltend zu machen, mit in den Gedankenkreis des Volkes hineingezogen. In der dritten Serie dagegen wendet sich unsere ganze Fürsorge dem eigentlichen praktischen Leben und den dort sichtbar werdenden Bedürfnissen zu, und es ist in diesen praktischen Handbüchern der verdienstliche Gedanke, der uns leitet, zur Anschauung gebracht. Die „Schule des Zeichners" beginnt den Reihen. Ihr schließt sich an: „Die Schule der Mechanik und Maschinenkunde"; ein folgender Band wird eine „Geometrie für den Gewerbsmann und Techniker" 2c. 2c. bringen.

Zweite Serie der Malerischen Feierstunden.

Populäre Lehrbücher aus dem Gebiete der Naturwissenschaften u. s. w.

In zwanglosen, reich illustrirten Bänden von 10—15 Bogen zum Preise von 1 Thlr. In elegantem englischen Einband 1⅓ Thlr.

Vollendet sind:

Erster und zweiter Band. **Das Buch der Geologie** oder **die Wunder der Erdrinde und der Urwelt.** Naturgeschichte der Erde in allgemein verständlicher Darstellung für alle Freunde dieser Wissenschaft, mit Berücksichtigung der Jugend. Durchgesehen und mit einer Einleitung begleitet von C. C. Ritter v. Leonhard, Großherzogl. Bad. Geh. Rath und Professor an der Universität zu Heidelberg. Zwei Bände. 24 Bogen. Mit 18 Buntdrucktafeln und 175 in den Text gedruckten Abbildungen. 2 Thlr. In elegantem englischem Einband 2½ Thlr.

Dritter Band. **Die Wunder des Mikroskops** oder **die Welt im kleinsten Raume.** Für Freunde der Natur und mit Berücksichtigung der Jugend herausgegeben von Professor Dr. Moritz Willkomm. Mit mehr als 1000 Abbildungen auf 145 Illustrationen, einem Titelbilde, Frontispice 2c. Eleg. broch. 1 Thlr. In elegantem englischem Einband 1⅓ Thlr.

Vierter Band. **Die Wunder des Sternenhimmels** oder **ein Ausflug in den Himmelsraum.** Herausgegeben von Dr. Otto Ule. Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen, einem Titelbilde, Frontispice 2c. Eleg. broch. 1 Thlr. In elegantem englischem Einband 1⅓ Thlr.

(Vollendet bis May 1857.)

Fünfter und Sechster Band. (Erscheinen im Jahre 1857.)
Das Buch der Natur. Versuch einer physischen und mathematischen Erdbeschreibung für Leser aller Stände. Zwei Bände. Mit vielen hundert in den Text gedruckten Abbildungen ꝛc. Eleg. broch. à Band 1 Thlr. Vollständig in eleg. engl. Einband 2½ Thlr.

Siebenter und Achter Band. (Vollendet bis März 1857.)
Das Buch der Pflanzenwelt. Botanische Reise um die Welt. Versuch einer kosmischen Botanik. Den Gebildeten aller Stände und allen Freunden der Natur gewidmet von Dr. Karl Müller. Zwei Bände. Mit gegen 300 in den Text gedruckten Abbildungen, einem Titelbilde, Frontispice ꝛc. Eleg. broch. à Band 1 Thlr.

Neunter Band. **Die Wunder der Wasserwelt.** In Bildern und Schilderungen für Jung und Alt. Herausgegeben von H. Stahl. Mit 110 in den Text gedruckten Abbildungen, einem Titelbilde, Frontispice ꝛc. Ein Band. Eleg. broch. 1 Thlr. In elegantem engl. Einband 1⅓ Thlr.

Zehnter Band. (Erscheint im Jahre 1857.) **Die Wunder des Luftkreises.** Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen, Titelbildern, Frontispicen ꝛc. Ein Band. Eleg. broch. 1 Thlr. In elegantem englischem Einband 1⅓ Thlr.

(Diese Serie wird fortgesetzt.)

Dritte Serie.

Praktische Handbücher für den Gewerbsmann und Künstler.

Vollendet sind:

Erster Band. **Die Schule des Zeichners.** Praktische Methode zur Erlernung des Zeichnens, zum Selbstunterricht, sowie für Schulen. Herausgegeben von Dr. L. Bergmann. Mit 300 in den Text gedruckten Abbildungen als Zeichnenvorlagen und zur Veranschaulichung für Alle, welche zeichnen lernen wollen. Eleg. geheftet 1 Thlr. In eleg. Einband 1⅓ Thlr.

Inhalt.

I. Erste Anfangsgründe. — II. Einfache Körper. — III. Von der Beleuchtung (Schattiren). — IV. Blumenzeichnungen und Ornamente. — V. Landschaftszeichnungen. — VI. Figurenzeichnen. — VII. Thierzeichnen. — VIII. Perspektive. — IX. Die Lehre von Licht und Schatten. — Anhang: Die Schule des Holzschneiders, — des Kupfer- und Stahlstechers, — des Lithographen, — der Glyphographie und Galvanoplastik.

Zweiter Band. **Das architektonische Zeichnen.**

Dritter Band. **Die Schule der Mechanik und Maschinenkunde.** Zum Selbststudium für angehende Fachgenossen sowie als Leitfaden für Schulen. Mit Benutzung englischer Quellen herausgegeben von F. Luckenbacher. Mit 212 in den Text gedruckten Abbildungen. Eleg. geheftet 1 Thlr. In eleg. engl Einband 1⅓ Thlr.

In Vorbereitung befinden sich ferner:

Vierter Band. **Der angehende Mathematiker.** — Fünfter Band. (**Geometrie für den Gewerbsmann und Techniker.** — Sechster Band. **Die Schule der Physik.** Siebenter Band. **Die Schule der Chemie.** — Achter Band. **Die Experimentirkunst.** (Diese Serie wird fortgesetzt.)

Alle soliden Buchhandlungen nehmen auf die erschienenen, so wie auf die in diesem und im nächsten Jahre erscheinenden Bände Bestellungen an, und legen Interessenten auf gütiges Verlangen Bände zur Einsicht vor.

In gleich eleganter Ausstattung und praktischer Abfassung reihen sich den in der dritten Serie der „Malerischen Feierstunden" begonnenen praktischen Hand-, Lehr- und Hülfsbüchern eine Reihe reich illustrirter Bände an, welche wir in ihrer Gesammtheit bezeichnen möchten als eine:

Illustrirte Gewerbs-Bibliothek.

Als Probe, wie hier in rein praktischer Weise mit Vermeidung alles Wortschwalles die Themata behandelt werden, kann die nachstehende Sammlung von Handbüchern für den Architekten und Bauhandwerker gelten.

Die Schule der Baukunst. Ein Handbuch für Architekten, Bau- und Gewerbschulen und zum Selbstunterricht für Bauhandwerker und Bauunternehmer. In 6 Abtheilungen oder 2 Bänden, welche enthalten:

I. Band.	II. Band.
1. Abth. Geschichte der Baukunst.	1. Abth. Die Schule des Zimmermanns.
2. „ Die Baustyle und die Säulenordnungen. I.	2. „ Die Schule des Maurers.
3. „ Die Baustyle und die Ornamentik. II.	3. „ Die Schule des Steinmetzen.

Erschienen sind:

I. Band, Abth. 2. **Die Baustyle und die Säulenordnungen.** Erste Abtheilung: Griechischer und römischer Styl. — Die Ordnung der neueren Meister. Bearbeitet von Dr. L. Bergmann. Mit 162 Abbildungen. Eleg. broch. 25 Sgr.

II. Band. Abth. 1. **Die Schule des Zimmermanns.** Ein praktisches Hand- und Hülfsbuch für Architekten und Bauhandwerker, so wie für Bau- und Gewerbschulen. Bearbeitet von B. Harres, Baumeister und Lehrer der Architektur an der höhern Gewerbschule in Darmstadt. Mit 235 in den Text gedruckten Abbildungen. Elegant geheftet 25 Sgr.

II. Band. Abth. 2. **Die Schule des Maurers.** Praktisches Handbuch für Architekten, Bauhandwerker, Bau- und Gewerbschulen. Bearbeitet von B. Harres, Baumeister &c. Mit 230 in den Text gedruckten Abbildungen. Eleg. broch. 1 Thlr.

In Vorbereitung befindet sich:

II. Band: Abth. 3. **Die Schule des Steinmetzen.** Ein praktisches Handbuch für Architekten, Steinmetzen, für Bau- und Gewerbschulen. Bearbeitet von B. Harres, Baumeister &c. Mit 150 in den Text gedruckten Abbildungen. Elegant brochirt.

An einem Werke, welches, stets die praktische Richtung verfolgend, das Ganze der Baukunst in einer zwar gedrängten, aber dennoch vollständigen Zusammenstellung enthielte, war bisher noch immer ein fühlbarer Mangel. — Wie mancher tüchtige Praktiker, dem in seiner Jugend Zeit, Mittel und Gelegenheit fehlten, seine Fortbildung zu vollenden, würde gern die Lücken, die sich ihm täglich fühlbarer machen, ausfüllen, wenn ihm dazu ein solches Werk zu Gebote stände, das er sich mit geringem Kostenaufwande verschaffen könnte und in dem er das Ganze seiner Kunst übersichtlich und leichtfaßlich zusammengestellt fände. Selbst der durchgebildete Baumeister, dem es nicht an gutem Material fehlt, dürfte ein übersichtliches Werk, welches ihm als Nachschlagebuch dienen könnte, gern annehmen.

Auch unsere Bauschulen und technischen Lehranstalten erwarteten bis jetzt noch vergeblich ein vollständiges, billiges, rein praktisches Handbuch der Baukunst, an das der Schüler sein Studium anlehnen kann und das ihm in allen Fächern ein sicherer Rathgeber ist.

Aus diesen Gründen erschien es zweckmäßig, ein Handbuch herzustellen, welches, auf den möglichst engen Raum zusammengedrängt, alles Nöthige enthält, und dasselbe dem Publikum zu einem Preise in die Hand zu geben, den Jeder daran wenden kann.

So wie auf die Abfassung des Textes die möglichste Sorgsamkeit verwendet ist, damit dieselbe praktisch, vollständig und allgemein faßlich sei, so sind auch die sehr zahlreichen in den Text gedruckten Illustrationen — die berühmtesten Gebäude aller Zeiten, die Säulenordnungen, Ornamente und Bauconstructionen darstellend — mit der größten Sorgfalt von den Verfassern selbst auf Holz gezeichnet und von den besten Künstlern geschnitten worden, so daß dieselben auch als Vorlegeblätter zum Nachzeichnen dienen können, was von Wichtigkeit ist, da hier die ausgeführten Vorlegeblätter selten und theuer sind.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen.

Die

Schule der Mechanik und Maschinenkunde.

Malerische

Feierstunden.

Illustrirte

Familien- und Volks-Bibliothek

zur

Verbreitung nützlicher Kenntnisse.

Dritte Serie:

Praktische Handbücher.

Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen, u. s. w.

Dritter Band:

Die Schule der Mechanik und Maschinenkunde.

Bearbeitet

von

Franz Luckenbacher.

Leipzig.

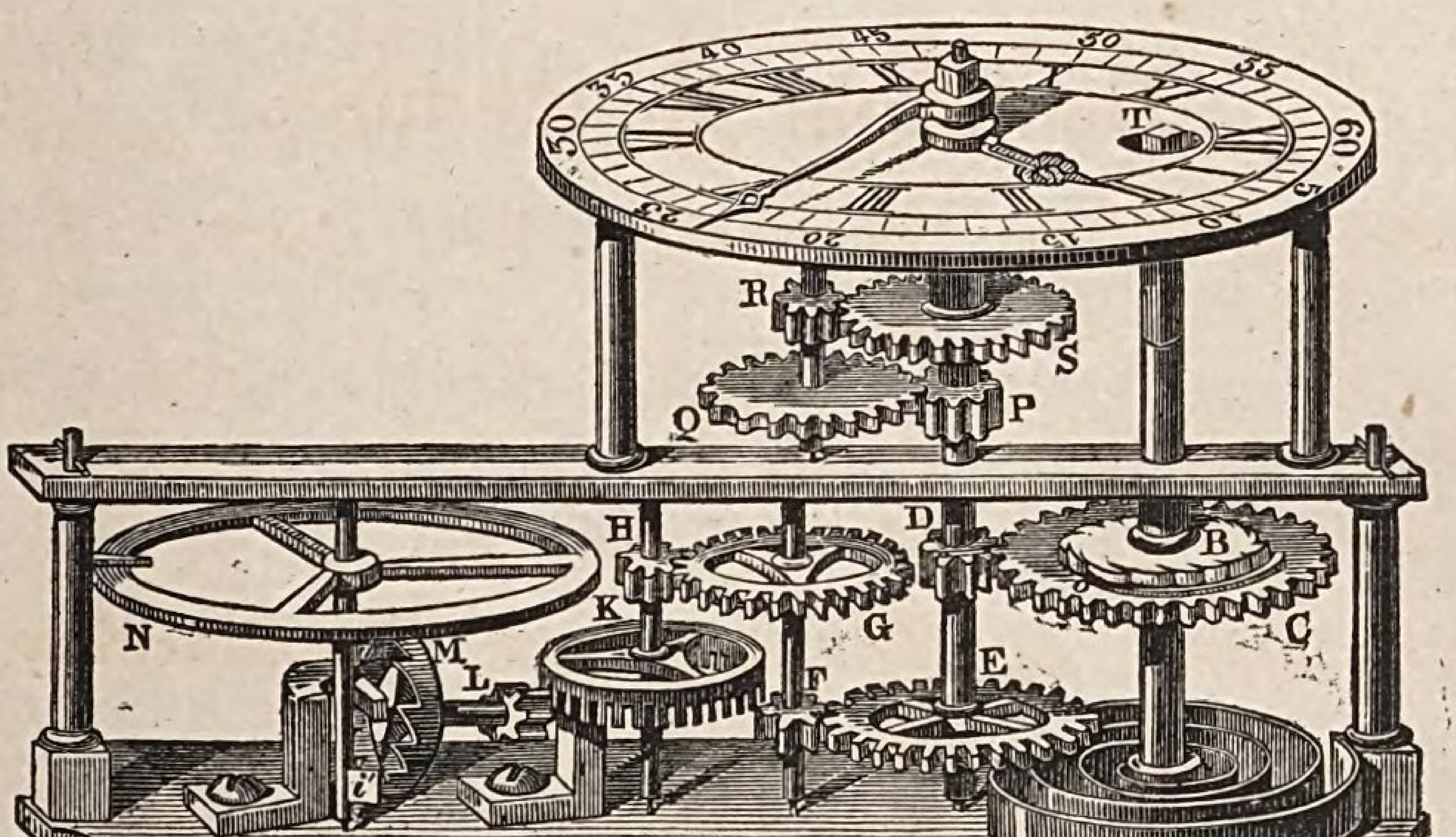
Verlag von Otto Spamer.

1857.

Die
Schule der Mechanik
und
Maschinenkunde.

Zum Selbststudium für Laien und angehende Fachgenossen
sowie als Leitfaden für Schulen.

Nach dem Englischen bearbeitet
von
Franz Luckenbacher.



Mit zweihundert und zwölf in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig.
Verlag von Otto Spamer.
1857.

Druck von C. E. Elbert in Leipzig.

Vorwort.

Die wichtige Stellung, welche die Mechanik und ihre Verkörperung, die Maschine, in der Gegenwart einnimmt, ihr mächtiger Einfluß auf das industrielle, politische und sociale Leben, auf das materielle Wohl und Wehe der Völker wie des Einzelnen, ist, wenn auch seinem ganzen Umfange nach gewiß schwer zu würdigen, doch im Allgemeinen so offenliegend, daß er Niemandem ganz entgehen kann. Mehr wie je greift die Maschine in die Verhältnisse eines Jeden ein; sie ermöglicht oder erleichtert die Production des Einen, wie die Consumtion des Andern; ihr vertrauen wir nicht blos Hab und Gut, sondern selbst Leib und Leben an. Die Mechanik ist demnach ein Gegenstand von solcher Wichtigkeit geworden, daß es auch dem Laien nahe gelegt ist, sich in einem gewissen Grade mit demselben vertraut zu machen. So wird denn auch in einer Serie von Schriften, welche den Zweck hat, praktisches Wissen in weitern Kreisen zu verbreiten, die Mechanik nicht übergangen werden dürfen, und zwar um so weniger, als es hoffentlich bald allgemein zu den Attributen eines Gebildeten gerechnet werden wird, daß er neben seinen übrigen Kenntnissen auch einigen „Maschinenverstand" besitze.

Dadurch, daß das vorliegende Buch einer solchen Folgereihe belehrender Schriften angehören soll, war der Umfang und die Behandlungsweise desselben vorgezeichnet. Es wendet sich vorzugsweise an Laien, seien es nun solche, die blos aus Interesse an der Sache sich Belehrung verschaffen wollen, oder solche, deren Stellung ihnen wünschenswerth

macht, von mechanischen Dingen einige Kenntniß zu haben. Zudem soll das Werkchen, als Bestandtheil einer Hausbibliothek, auch schon der reifern Jugend im Allgemeinen verständlich sein und Belehrung wie Anregung geben. Die Rücksicht auf ein solches Publikum verbietet das tiefere Eingehen auf zu schwierige Punkte, so wie die Beibringung von Formeln und vielem Rechnungswesen, das dem Praktiker zwar unentbehrlich ist, den Uneingeweihten aber in der Regel mehr abschreckt als anzieht.

Es kann sich demnach hier nicht um eine Anleitung Maschinen zu bauen, sondern nur darum handeln, durch Vorführung der hauptsächlichsten Grundsätze und Thatsachen, unter Anknüpfung praktischer Beispiele dem Leser eine allgemeine Einsicht in das Wesen und die Functionen der Maschinen zu verschaffen, ihm die Mittel zu zeigen, welche der Mechanik zur Erreichung bestimmter Zwecke zu Gebote stehen.

Es ist keineswegs schwer, und doch in mehrfacher Hinsicht so belohnend, ein solches allgemeines Verständniß sich anzueignen. Jeder Mensch hat ja schon, von den ersten Tagen seiner Kindheit an, eine Vorschule der Mechanik durchgemacht. Die Gesetze der Bewegung sind ihm durch Tausende von Vorgängen des täglichen Lebens wenigstens praktisch schon geläufig geworden; das Lehrbuch faßt diese Erfahrungen nur in bestimmte Sätze zusammen, bringt in dieselben Klarheit und Zusammenhang.

Die englische Literatur besitzt bereits nicht wenige in dem angedeuteten Sinne bearbeitete populär-mechanische Schriften, und von dort her ist auch das Material zu der vorliegenden entlehnt; doch wurde auch aus Delaunay's Cours élémentaire de Mécanique Einiges hinzugenommen.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

V. Festigkeit der Materialien. 87

VI. Von den Maschinentheilen. 93

VII. Beschreibung einzelner Maschinen. 123

Die
Schule des Mechanikers.

I.

Von der Bewegung und ihren Gesetzen.

Die ganze Mechanik beruht auf den Gesetzen der Bewegung. Eine Bewegung heißt jede Orts- oder Lageveränderung eines Körpers gegen andere. Sie ist geradlinig, wenn der Körper die zuerst angenommene Richtung beibehält, krummlinig im andern Falle. Zu jeder Bewegung ist Zeit erforderlich. Der Weg oder Raum, welchen ein in Bewegung begriffener Körper in einer gewissen Zeit zurücklegt, giebt die Vorstellung von seiner Geschwindigkeit. Als Raumeinheit nimmt man gewöhnlich den Fuß, als Zeiteinheit die Secunde an. Sagen wir also, eine Kanonenkugel habe eine Geschwindigkeit von 2000 Fuß, so heißt das, sie macht in einer Secunde einen Weg von 2000 Fuß.

Durchläuft ein Körper in gleichen Zeiten gleiche Räume, so heißt seine Bewegung eine gleichförmige; ungleichförmig dagegen ist die Bewegung, wenn er in gleichen Zeiten ungleich große Räume zurücklegt. Bewegt sich ein Körper dergestalt, daß seine Geschwindigkeit in jedem folgenden Zeittheilchen gleichmäßig zunimmt, so ist seine Bewegung eine stetig oder gleichmäßig beschleunigte; eine Bewegung mit gleichmäßig abnehmender Geschwindigkeit ist eine gleichmäßig verzögerte. Die Begriffe von ungleichmäßig beschleunigt und ungleichmäßig verzögert ergeben sich hieraus von selbst.

Der Gegensatz von Bewegung ist Ruhe. Beide Zustände können auch nur scheinbar sein, daher man sowohl relative und absolute Bewegung als relative und absolute Ruhe unterscheidet. Jede Bewegung eines Körpers ist in Beziehung auf einen andern, der sich selbst bewegt, eine relative; eine absolute Bewegung könnten wir nur dann wahrnehmen, wenn wir uns auf einem Punkte oder Körper im Weltraume befänden, der selbst in absoluter Ruhe sich befände. Da aber ein solcher nicht existirt, vielmehr das ganze Weltgebäude in steter Bewegung begriffen ist, so kann von absolut ruhenden Körpern nur insofern die Rede sein, als wir uns die Erde selbst als stillstehend denken. In diesem beschränkteren Sinne heißt also ein Fels, Haus oder ein anderes unbewegliches Object ein in absoluter Ruhe befindlicher Körper.

Jede Ursache, die einen ruhenden Körper in Bewegung setzt oder die Bewegung eines schon bewegten ändert, nennen wir Kraft. Eine Kraft wirkt entweder nur einmal, oder wiederholt, oder fortgesetzt auf einen Körper; es können mehrere Kräfte in gleicher oder entgegengesetzter Richtung oder auch unter irgend welchen Winkeln auf ihn wirken und die Kräfte können einen gemeinschaftlichen oder auch verschiedene Angriffspunkte haben: alle diese Umstände werden auf die Geschwindigkeit und die Richtung des bewegten Körpers einen entsprechenden Einfluß ausüben.

Die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper gegen einen andern trifft, nennt man sein Moment. Ihr Maß wird durch Multiplication der Masse oder des Gewichtes des Körpers mit seiner Geschwindigkeit bestimmt. Demnach muß die Kraft, welche erforderlich ist, nur eine 10 Unzen schwere Kugel mit einer gegebenen Geschwindigkeit fortzubewegen, fünfmal größer sein als die, welche eine nur zwei Unzen schwere ruhende Kugel in gleiche Geschwindigkeit zu versetzen vermag, denn die fünfmal größere Kugel bewegt sich mit fünfmal größerer Kraft als die kleinere, obwohl die Geschwindigkeit bei beiden gleich ist. Wird aber die Geschwindigkeit der kleinern Kugel fünfmal vergrößert, so sind beide Momente einander gleich. Um 3 Pfund mit 1 Fuß Geschwindigkeit zu bewegen, ist die Kraft 3 nöthig; um 1 Pfund mit 3 Fuß Geschwindigkeit fortzuschaffen, ist ebenfalls die Kraft 3 nöthig. Es können mithin kleine, aber sehr schnell bewegte Massen denselben Stoß ausüben, als große langsam bewegte. Es ergiebt sich aus dem Gesagten, daß man so wie für die Geschwindigkeit, auch für die Kraft ein einheitliches Maß bedarf. Diese Einheit bildet die Kraft, welche erforderlich ist, um 1 Pfund mit 1 Fuß Geschwindigkeit pr. Secunde zu heben. Man nennt sie das Maß der Kräfte und die erhaltenen Zahlen gewöhnlich Fußpfunde. Mit der Einführung der Dampfmaschinen ist noch eine größere Maßeinheit, die Pferdekraft, in Aufnahme gekommen. Die Arbeit eines Pferdes wird im Allgemeinen der von sechs Menschen gleichgesetzt; genauer genommen versteht man unter einer Pferdekraft die Kraft, welche erforderlich ist, um in 1 Secunde 500 Pfund 1 Fuß hoch zu heben.

Die Ursachen, welche sich der Bewegung entgegenstellen und sie entweder hemmen oder eine entgegengesetzte Richtung derselben bewirken, nennt man Widerstand. Der zu überwindende Widerstand wird im Gegensatz zur Kraft gewöhnlich Last genannt.

Die Trägheit oder das Beharrungsvermögen ist diejenige allen Körpern gemeinsame Eigenschaft, vermöge deren ein Körper, der einmal in Bewegung ist, dieselbe so lange fortsetzt, bis eine Kraft oder ein Widerstand sie aufhebt, und wenn er in Ruhe ist, so lange in Ruhe bleibt, bis er durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird. Dieses zuerst von Galilei 1638 aufgestellte wichtige Gesetz kann auch so ausgedrückt werden: ein Körper kann seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung nicht selbst ändern.

Aus dem Trägheitsgesetz erklären sich eine Menge alltäglicher Erscheinungen. Hält ein Fuhrwerk plötzlich an oder stößt ein Kahn an's Ufer, so fallen die Darinsitzenden mit dem Oberkörper nach vorn, weil sie in derselben Fortbewegung

wie das Fahrzeug begriffen sind und für ihren Theil dieselbe fortzusetzen streben; ein Schwanken der Fahrenden nach hinten tritt dagegen ein, wenn ein stillstehendes Fuhrwerk plötzlich in Gang gesetzt wird; hier streben die Insassen vermöge der Trägheit auf ihrem Orte zu beharren, während das Fahrzeug unter ihnen fortgeht. Wer rasch an einen Graben gelaufen ist, muß entweder hinein- oder hinüberspringen; ein Kunstreiter macht sein Kugelspiel auf dem laufenden Pferde eben so sicher wie auf der Erde; wir sehen die Kugel, die er an einem Punkte in die Höhe wirft und an einem andern wieder auffängt, einen Bogen in der Luft beschreiben; er selbst sieht diesen Bogen gar nicht, für ihn steigt und fällt sie nur, denn die Bewegung nach vorn haben Pferd, Mann und Kugel gemeinschaftlich. Aus dem Beharren in der Bewegung erklärt sich der Gang des Pendels, der in der zweiten Hälfte seines Bogens um eben so viel hinansteigt, als er in der ersten herabgegangen; aus dem Beharren in der Ruhe erklärt es sich, daß der Stiel tiefer in den Hammer dringt, wenn man auf sein hinteres Ende in der Richtung seiner Längenaxe einen Schlag führt: der Kopf des Hammers konnte sich nicht so schnell in Bewegung setzen als der Stiel vorwärts drang.

Die ununterbrochene Bewegung der Weltkörper giebt uns den besten Beleg für den Grundsatz, daß einmal in Bewegung gesetzte Körper sich immerfort bewegen müssen; dies Beispiel ist aber auch das einzige seiner Art. Auf unserer Erde muß jede Bewegung über kurz oder lang einmal aufhören. Die hauptsächlichsten Widerstände, die sich der Bewegung entgegenstellen, sind die S c h w e r e, die R e i b u n g und der W i d e r s t a n d der L u f t. Eine Kegelkugel, mit gleicher Kraft über eine Rasenfläche, eine Kegelbahn und eine ganz glatte Eisfläche geschoben, wird im zweiten Falle beträchtlich weiter laufen als im ersten und im dritten wieder weiter als im zweiten, entsprechend den größern oder geringeren Reibungswiderständen, die sie auf diesen drei Wegen antrifft. Ein gut construirtes Secundenpendel hat an seinem Aufhängepunkte nur eine sehr geringe Reibung zu überwinden und wird daher, einmal in Schwingung gesetzt, geraume Zeit in seiner Bewegung verharren. Sein endlicher Stillstand erfolgt größtentheils durch den Widerstand der Luft; in einem luftleeren Gehäuse ist daher die Bewegung eine viel länger anhaltende. Es ist eine der Hauptaufgaben des praktischen Mechanikers, bei den Maschinentheilen, die sich bewegen sollen, die Reibung zu vermindern. Bei ruhenden Körpern, welche eine feste Lage haben sollen, wirkt dagegen die Reibung wohlthätig. (Weiteres über die Reibung in einem spätern Abschnitt.)

Vermöge der Trägheit setzt jeder Körper einer auf ihn einwirkenden Kraft einen Widerstand entgegen, dessen Größe seiner Masse entspricht. Nur wenn die Trägheit überwunden wird, kommt der Körper wirklich in Bewegung. Daher bedarf es einer viel größern Kraft, um einen Lastwagen in Gang zu setzen als im Gange zu erhalten, da im letztern Falle nur die Widerstände der Reibung an dem Wege und in den Naben, im erstern aber auch noch die Trägheit der Masse überwunden werden muß.

Die verschiedenen Arten der Bewegung.

Die gleichförmige Bewegung. Jeder Körper, auf den nur eine einzige Kraft wirkt, geht in Folge seines Beharrungsvermögens in derjenigen Richtung fort, nach welcher er zuerst in Bewegung gesetzt wurde. Da er aus sich selbst weder seine Richtung noch seine Geschwindigkeit ändern kann, so wird seine Bewegung zugleich geradlinig und gleichförmig sein. Diesen Zustand wird der bewegte Körper nur dann ändern, wenn noch eine andere Kraft auf ihn wirkt. Eine abgeschossene Kanonenkugel fällt in Folge der Schwerkraft in einer Bogenlinie zur Erde; ohne die Schwerkraft und ohne den Widerstand der Luft würde sie beständig in grader Linie weiter fliegen müssen, und um sie aufzuhalten würde ein gleicher Kraftaufwand nöthig sein als der, durch welchen sie ihre Bewegung erhalten.

Eine gleichförmige Bewegung kennt man, wenn man die Bahn kennt, die ein bewegter Körper durchläuft, und wenn man weiß, wie weit er in einer gegebenen Zeit darin fortgeht, d. h. wie groß seine Geschwindigkeit ist. Sind verschiedene gleichförmige Geschwindigkeiten zu vergleichen, so verhalten sich dieselben, wenn die Zeiten gleich sind, zu einander wie die zurückgelegten Räume; sind die Räume gleich, so stehen die Geschwindigkeiten mit den Zeiten, die auf jene verwandt worden sind, im umgekehrten Verhältnisse; sind sowohl die Wege als die Zeiten ungleich, so geben diejenigen Quotienten, welche man erhält, wenn man die zurückgelegten Wege mit den auf sie verwandten Zeiten dividirt, ihr gegenseitiges Verhältniß an. Der Weg eines gleichförmig bewegten Körpers ist der Zeit proportional, d. h. man findet ihn, wenn man die Geschwindigkeit mit derjenigen Zeit multiplicirt, welche auf ihn verwandt worden ist.

Ein Körper kann sich gleichzeitig in zwei oder mehreren Bewegungen befinden. Segelt ein Schiff in der Minute 500 Fuß weit und ein Mann geht in derselben Zeit vom Hintertheil nach dem Vordertheil 80 Fuß weit, so beträgt die wahre Geschwindigkeit seiner Fortbewegung natürlich 580 Fuß; geht er im Gegentheil unter gleichen Umständen von vorn nach hinten, so beträgt sie nur 420 Fuß. Kann er mit derselben Geschwindigkeit nach hinten laufen, mit der das Schiff vorwärts geht, so befindet er sich in Bezug auf das Schiff zwar in Bewegung, in Bezug auf einen festen Punkt am Ufer aber in relativer Ruhe.

Was von Geschwindigkeiten gilt, gilt auch von Kräften, da Geschwindigkeit und Kraft im Grunde nur zweierlei Ausdrücke für Eins und Dasselbe sind. Es werden daher folgende Grundsätze nach dem Vorbemerkten ohne Weiteres einleuchten:

1) Wenn mehrere Kräfte in einerlei Richtung auf einen Körper wirken, so nimmt der Körper diejenige Geschwindigkeit an, welche der Summe der einzelnen Kräfte gleich ist.
2) Wirken die Kräfte in gerade entgegengesetzter Richtung auf einen Körper, so sind sie entweder gleich groß, und in diesem Falle bleibt der Körper im Ruhezustande, oder sie sind ungleich groß, und es geht der Körper nun

zwar in der Richtung der stärkeren Kraft fort, jedoch nur mit derjenigen Geschwindigkeit, welche nach Abzug der kleineren Kraft von der größeren als Rest übrig bleibt, d. h. mit andern Worten, die Wirkung ist dem Unterschiede beider Kräfte gleich.

Beschleunigte und verzögerte Bewegung.

Wenn eine Kraft in derselben Richtung wiederholt auf einen Körper wirkt, so wird die Bewegung desselben beschleunigt. Ein frei fallender Körper giebt das beste Beispiel einer stetig beschleunigten Bewegung, wie ein senkrecht in die Höhe geworfener das einer stetig verzögerten. Bei dem fallenden Körper ist die bewegende Kraft die Schwere; sie wirkt nicht blos beim Anfang des Falles, sondern stetig fort durch die ganze Länge des Fallraumes, und muß somit dem fallenden Körper eine stetig wachsende Geschwindigkeit ertheilen. Um sich von den Fallgesetzen einen klaren Begriff zu machen, zerlegt man sich gewöhnlich die Zeiten und Räume in sehr kleine Theilchen und stellt sich vor, daß innerhalb derselben die Progression gleichsam absatz- oder stoßweise vor sich ginge, was natürlich in der Wirklichkeit nicht der Fall ist. Theilt man die Secunde in 1000 kleine Theilchen und ebenso den Weg, den ein frei fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, so kann man sich den Fall so versinnlichen: Im ersten Zeittheilchen wird der Körper ein Raumtheilchen durchlaufen; dasselbe würde er schon vermöge der Trägheit auch im zweiten Zeittheilchen thun; da ihm aber die Schwere ununterbrochen neuen Impuls giebt, so wird seine Geschwindigkeit im zweiten Zeittheilchen doppelt so viel als im ersten, im dritten das Dreifache, im vierten das Vierfache u. s. w. Die Geschwindigkeiten verhalten sich demnach wie die Zeiten. Nun weiß man aus Erfahrung, daß die Schwere einem frei fallenden Körper in der ersten Secunde die Geschwindigkeit von etwa 30 Fuß ertheilt*); ist die Geschwindigkeit, die am Anfang Null war, am Ende der ersten Secunde 30 Fuß, so muß das Mittel dieser Geschwindigkeit 15 Fuß sein, demnach der Körper einen Fallraum von 15 Fuß zurückgelegt haben; in der zweiten Secunde ist die Geschwindigkeit anfangs 30, am Ende 60 Fuß, das Mittel also 45 Fuß; für die folgenden Secunden erhalten wir in dieser Weise die Zahlen 75, 105, 135 ꝛc. Nun verhalten sich die Zahlen 15, 45, 75, 105 ꝛc. wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 ꝛc.; wir sehen also, daß ein freifallender Körper in der 2. Secunde 3 mal, in der 3. 5 mal, in der 4. 7 mal so tief sinkt als in der ersten, und es ergiebt sich hieraus das Fallgesetz: Die Fallräume wachsen in jedem folgenden Zeittheilchen wie die ungeraden Zahlen.

Ist nach Vorstehendem der Fallraum der ersten Secunde 1, der zweiten 3,

*) Da es hier nicht auf genaue Längenmessungen, sondern nur auf die Längenverhältnisse ankommt, so genügt eine ungefähre Angabe in unbestimmten Fußen. In pariser Fußen wird der Fallraum der ersten Secunde, vom Widerstande der Luft abstrahirt, auf $15^1/_{10}$ gesetzt, was $16^1/_{10}$ engl. gleich ist.

der dritten 5 u. s. w., so ist die ganze Fallhöhe nach zwei Secunden 1 + 3 = 4, nach drei Sec. 4 + 5 = 9, nach vier Sec. 9 + 7 = 16, nach fünf Sec. 16 + 9 = 25 u. s. w. und da die Zahlen 4, 9, 16, 25 die Quadrate von 1, 2, 3, 4, 5 sind, so ergiebt sich hieraus als weiteres Fallgesetz der Grundsatz: Die Fallhöhen verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten.

Galilei fand und bestätigte die Fallgesetze, indem er Körper von großen Höhen herabfallen ließ. Da hierbei die Geschwindigkeit zu rasch ist, als daß sie mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden könnte, so hat man versucht sie zu verringern, ohne daß das Gesetz der Beschleunigung dadurch gestört würde. Denn wenn man nicht die wirkliche Geschwindigkeit einer Bewegung, sondern nur ihre Beschleunigung messen will, so kommt natürlich auf die Größe der Bewegung nichts an, sofern der Körper nur den allgemeinen Fallgesetzen folgt. Galilei benutzte, um die Fallgesetze bequemer studiren zu können, die schiefe Ebene, indem er leicht bewegliche Körper darauf herunterrollen ließ. Genauere Resultate giebt ein von Atwood erfundener sinnreicher Apparat, die Fallmaschine. Bei ihr hat man es in der Gewalt, die Körper beliebig schnell oder langsam fallen zu lassen. Sie besteht im Wesentlichen aus einer etwa mannshohen Säule, auf deren Scheitel eine möglichst leicht bewegliche Rolle angebracht ist. Ueber die Rolle läuft ein feiner Seidenfaden, an dessen beiden Enden gleich schwere Gewichte hängen. Die Säule ist mit einer Scala versehen. Wird nun auf eines der beiden Gewichte auch nur ein ganz kleines Uebergewicht gelegt, so muß dieses sinken und das zweite Gewicht steigen. Die Bewegung wird langsam beginnen und sich immer mehr beschleunigen. Natürlich wird auch das belastete Gewicht desto schneller niedergehen, je größer die aufgelegte Last und folglich der Gewichtsunterschied ist. Man hat es sonach in der Gewalt, die Fallgeschwindigkeit nach Belieben zu modificiren. Angenommen jedes der beiden Gewichte sei 7 Loth schwer, das aufgelegte Uebergewicht 1 Loth. Hier ist also die Kraft, welche einem freifallenden Lothgewicht innewohnt, unter eine 15mal größere Masse vertheilt, und es muß unter solchen Umständen seine Geschwindigkeit offenbar 15mal kleiner erscheinen, d. h. es wird in vorliegendem Beispiele statt 15 Fuß nur 1 Fuß tief fallen.

Durch die Fallmaschine läßt sich nicht allein die Richtigkeit der Fallgesetze nachweisen, sondern sie zeigt uns auch, wie viel von der wirklichen Geschwindigkeit eines fallenden Körpers auf Rechnung der Schwerkraft und wie viel auf Rechnung der Trägheit kommt. An dem Körper der Maschine befindet sich ein verschiebbarer Ring, durch welchen das fallende Gewicht hindurchgeht, während das Stäbchen, das als Uebergewicht benutzt wird, auf demselben liegen bleibt. So wie das Stäbchen entfernt ist, tritt plötzlich wieder das Gleichgewicht zwischen beiden Gewichten ein, und ihre fernere Bewegung wird nur durch die bereits erlangte Geschwindigkeit bedingt. Sie bewegen sich nun in Folge der Trägheit und ihr Gang ist somit von diesem Moment an nicht mehr beschleunigt, sondern gleichförmig. Hierbei gilt folgender Erfahrungssatz: Ist ein Körper in einer gegebenen Zeit unter Einwirkung der beschleunigenden Kraft durch

einen gewissen Raum gefallen, so hat er am Ende desselben eine Geschwindigkeit erlangt, vermöge welcher er nachher in derselben Zeit, bei aufhörender Wirkung der Schwere, einen doppelt so großen Raum durchlaufen wird. Richtet man demnach die Belastung am Apparat so ein, daß das belastete Gewicht in der ersten Secunde 1 Fuß tief sinkt und auf diesem Punkte das Uebergewicht abgestreift wird, so werden die beiden Gewichte in der zweiten und dritten einen weitern Raum von 2 Fuß durchlaufen.

Wenn ein Körper senkrecht in die Höhe geworfen wird, so muß seine Geschwindigkeit in demselben Verhältniß gleichmäßig abnehmen, wie die eines fallenden zunimmt. War seine anfängliche Geschwindigkeit z. B. 90 Fuß, so ist sie am Ende der ersten Secunde 90 weniger 30, also 60 Fuß, am Ende der zweiten 90 weniger 2 × 30, also 30 Fuß, am Ende der dritten 90 weniger 3 × 30 oder gleich Null. Nach drei Secunden muß der Körper wieder zu fallen anfangen, und seine Geschwindigkeit wird nach weiteren 3 Secunden wieder 90, d. h. eben so groß sein als die, mit welcher er aufgestiegen war. Die Bewegung eines aufsteigenden Körpers giebt also genau das umgekehrte Gegenbild von der eines fallenden, und es müssen daher auch die Zeiten beider Bewegungen gleich sein, d. h. ein Körper braucht zum Steigen eben so viel Zeit als zum Fallen. Ist also ein in die Höhe geworfener Körper 8 Secunden lang ausgeblieben, so ist er 4 Secunden gestiegen und 4 Secunden gefallen und hat daher die Höhe von 16 × 15 oder 240 Fuß erreicht. Brauchen wir statt des Ausdrucks Geschwindigkeit den Ausdruck Kraft, so kommen wir zu dem Satze: Um einen Körper bis zu einer bestimmten Höhe emporzuwerfen, muß so viel Kraft aufgewendet werden, als der Körper erlangen würde, wenn er von dieser Höhe herabfiele.

Fällt ein Körper eine schiefe Ebene hinab, so ist die Zunahme der Geschwindigkeit und das Verhältniß der Fallräume zu den Fallzeiten ganz denselben Gesetzen unterworfen als beim freien Falle; nur der Verlauf gestaltet sich anders, da die Kraft, welche einen Körper eine schiefe Ebene hinabtreibt, immer nur ein der Neigung der Ebene entsprechender Bruchtheil seiner ganzen Schwerkraft sein kann. Auf einer sehr steilen Ebene wird sich daher der Körper fast mit derselben Geschwindigkeit bewegen, als wenn er frei herabfiele, während seine Bewegung um so langsamer sein wird, je geringer die Höhe der Ebene im Verhältniß zu ihrer Länge ist. Nehmen wir eine solche von 60 Fuß Länge und 15 Fuß Höhe. Aus dem Verhältniß der Höhe zur Länge, 1 zu 4, sehen wir, wovon später bei der Zerlegung der Kräfte mehr die Rede sein wird, daß hier $^3/_4$ der Last von der Ebene getragen werden und lediglich auf dieselbe drücken, ohne eine Bewegung zu bewirken, und nur das vierte Viertel das Bestreben hat, den Körper abwärts zu treiben. Ein Körper aber, dem, während seine Masse dieselbe bleibt, $^3/_4$ seiner Schwere durch die schiefe Fläche gleichsam künstlich abgenommen werden, kann sich nur mit $^1/_4$ der Geschwindigkeit auf ihr bewegen, die er im freien Fall erlangt hätte. Die Höhe der eben angenommenen schiefen Ebene wird, wie wir wissen, im freien Falle in 1 Secunde durchlaufen. Eine auf ihr rollende Kugel durchläuft mithin in der ersten Secunde nur $^1/_4$

dieses Raumes, also $3^3/_4$ Fuß. Nun soll das Gesetz der Beschleunigung auf der schiefen Ebene eben so gültig sein wie im freien Falle: es wird also zu dem Wege der 1. Secunde von . . . . . $3^3/_4$ Fuß
in der 2. das 3fache kommen, d. i. $11^1/_4$ „
„ „ 3. „ 5fache „ „ $18^3/_4$ „
„ „ 4. „ 7fache „ „ $26^1/_4$ „

Der in 4 Secunden durchlaufende Weg ist mithin 60 Fuß oder die ganze Länge der schiefen Ebene. Wir sehen also schon an diesem Falle, daß sich die Fallzeit auf einer schiefen Ebene zur Fallzeit im freien Raume verhält wie die Länge der Ebene zu ihrer Höhe; ist die Neigung der Ebene z. B. 1 zu 20, so braucht ein Körper 20 mal so viel Zeit sie zu durchlaufen, als ihre Höhe zu durchfallen.

Hat nun ein Körper eine senkrechte Höhe durchfallen, ein gleicher Körper eine an diese Höhe angelehnte schiefe Ebene durchlaufen, und fragen wir, wie es mit den erlangten Geschwindigkeiten beider stehe, nachdem sie auf einer und derselben Basis angelangt sind, so wissen wir bereits, daß der freifallende Körper nach der ersten Secunde bei einem Wege von 15 Fuß eine Geschwindigkeit von 30 Fuß erlangt, daß er mithin auf diesem Punkte so viel Kraft oder Druck auszuüben vermag, als ein 30mal schwererer Körper durch sein bloßes Gewicht. Legen wir nun an diese Höhe von 15 Fuß schiefe Ebenen von welcher Länge wir wollen, so wird sich immer finden, daß der Körper, gleichviel wie lange er zu laufen hatte, auf der Schiefe endlich dieselbe Geschwindigkeit erlangt und mit derselben Kraft auf der Basis aufschlägt, als wenn er die Höhe der schiefen Ebene frei durchfallen hätte. Da die Beschleunigung eine stetige ist, so findet auch auf allen Punkten und in allen Momenten dasselbe Verhältniß statt. Wir können also eine entworfene schiefe Ebene durch Horizontallinien beliebig abtheilen, immer wird der fallende Körper, gehe er senkrecht oder schräg an einer bestimmten Linie vorbei, in dem Moment der Berührung dieselbe Fallgeschwindigkeit haben.

Wir werden im Laufe unserer Betrachtungen oft sehen, wie mit einer kleinern Kraft, die auf einem längern Wege wirkt, dieselbe Leistung erzielt werden kann wie mit einer größern, die durch einen kürzern Raum geht. Fallende Körper leisten unterweges nichts, sondern sammeln nur Kraft, aber im Grunde gilt bei ihnen ganz derselbe Grundsatz, nur in etwas anderer Fassung; denn wie wir sehen, wächst auf der schiefen Ebene eine kleinere Kraft auf einem längern Fallraume zu derselben Größe an wie die größere Kraft auf dem directen kürzesten Wege.

Läßt man eine Kugel eine schiefe Ebene hinabrollen, so hat sie, mit beschleunigter Bewegung unten angekommen, so viel Kraft erlangt, daß sie eine entgegenstehende schiefe Ebene von gleichem Neigungswinkel mit verzögerter Bewegung beinahe eben so hoch wieder hinansteigen wird als sie herabgerollt war. Wären die beiden Ebenen vollkommen glatt und fände kein Luftwiderstand statt, so würde der Körper genau wieder bis zu der gleichen Höhe gelangen.

Auf diesem Principe beruht die Lehre vom Pendel, wovon später die Rede sein wird.

Zusammengesetzte geradlinige Bewegungen.

Wirken zwei Kräfte unter verschiedenen, jedoch nicht gerade entgegengesetzten Richtungen, also unter irgend einem Winkel auf einen Körper ein, so kann derselbe nicht jeder Kraft einzeln folgen, sondern es wird gleichsam eine neue Kraft gebildet, welche das Nämliche wirkt, wie die beiden Kräfte, aus denen sie resultirt, zusammengenommen. Sie heißt die Mittelkraft oder Resultante, die ursprünglichen Kräfte aber die Seitenkräfte oder Componenten. Ziehen zwei gleiche Kräfte a u. b an dem Körper c (Fig. 1.), so folgt daraus die Bewegung desselben in der Richtung c d. Bewegt sich ein Körper in der Richtung a c b, und es wirkt, wenn er in c angekommen, eine neue Kraft auf ihn ein, so wird auch diese in ihrer ganzen Größe sich geltend machen, denn eine Kraft, welche auf einen in Bewegung befindlichen Körper wirkt, leistet ganz dasselbe, als wenn der Körper in Ruhe wäre. Der Körper wird in Folge der neuen Kraft seinen Weg von c nach b nicht fortsetzen können, und ebenso wird die erste Kraft ihn hindern, dem Impulse von c nach e zu folgen; er wird also eine zwischenliegende Richtung einschlagen, und zwar wird diese, falls beide Kräfte gleich groß sind, genau die mittlere von c nach f sein; war die zweite Kraft größer als die erste, so muß, wie aus dem Folgenden deutlich werden wird, die Richtungslinie mehr nach e zu, im entgegengesetzten Falle mehr nach b zu fallen.

Fig. 1.

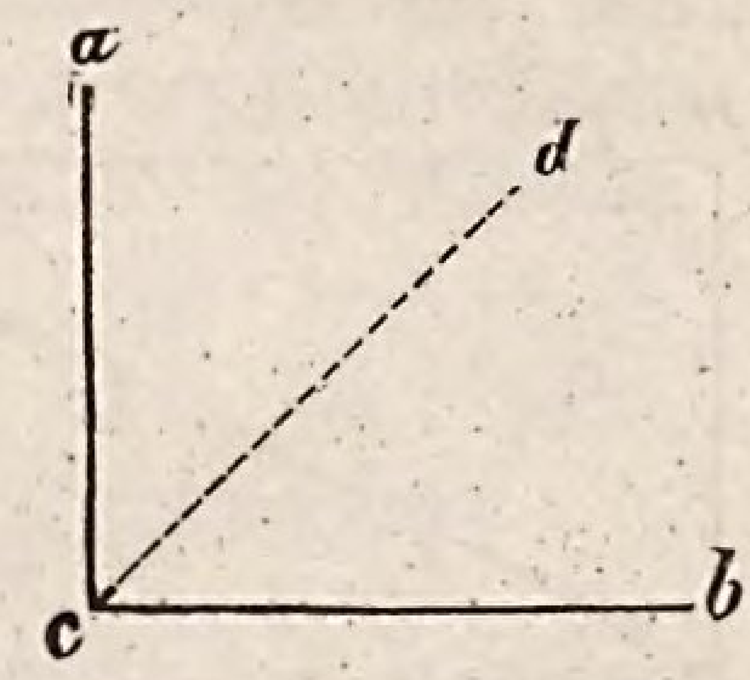
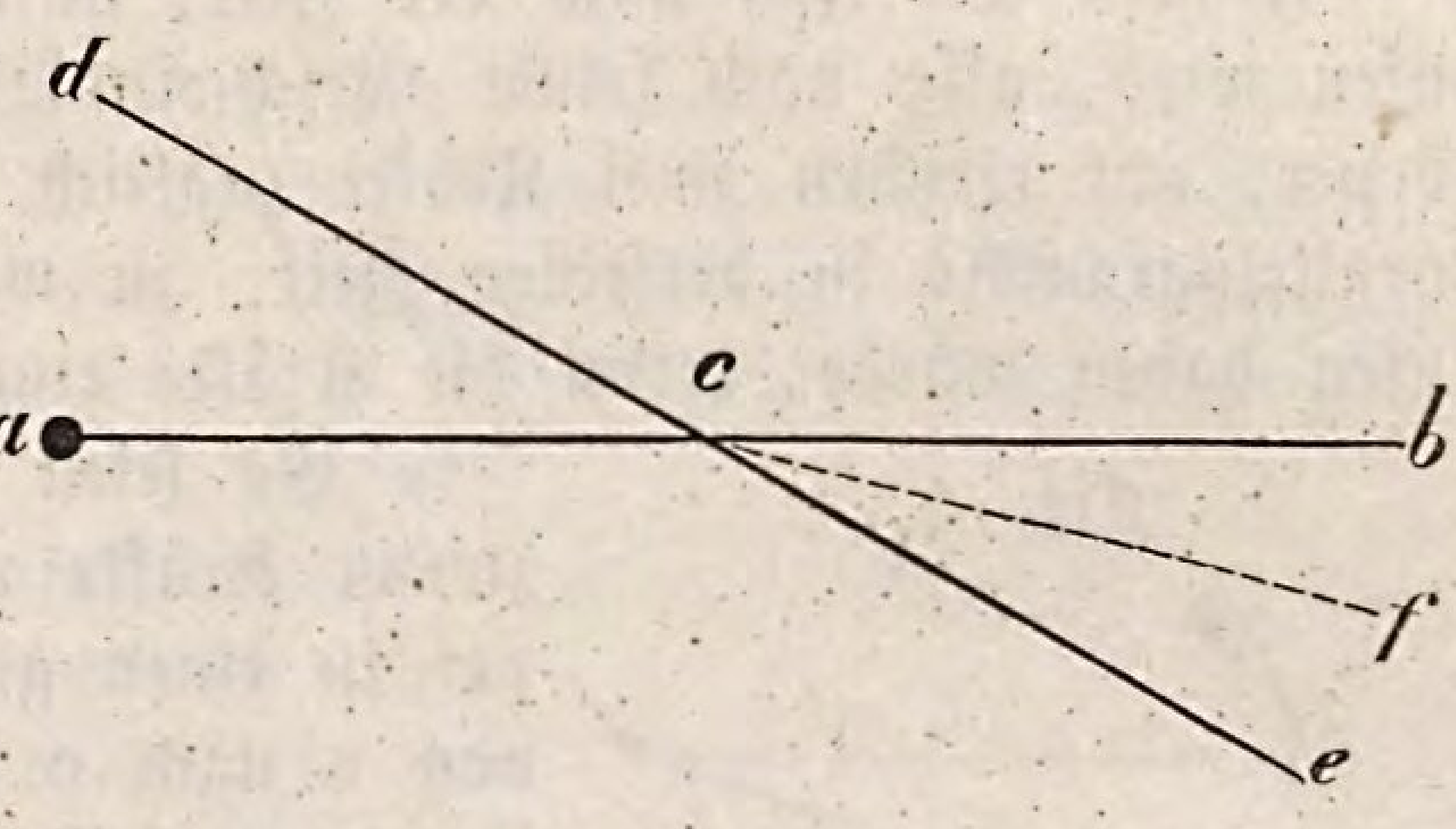


Fig. 2.

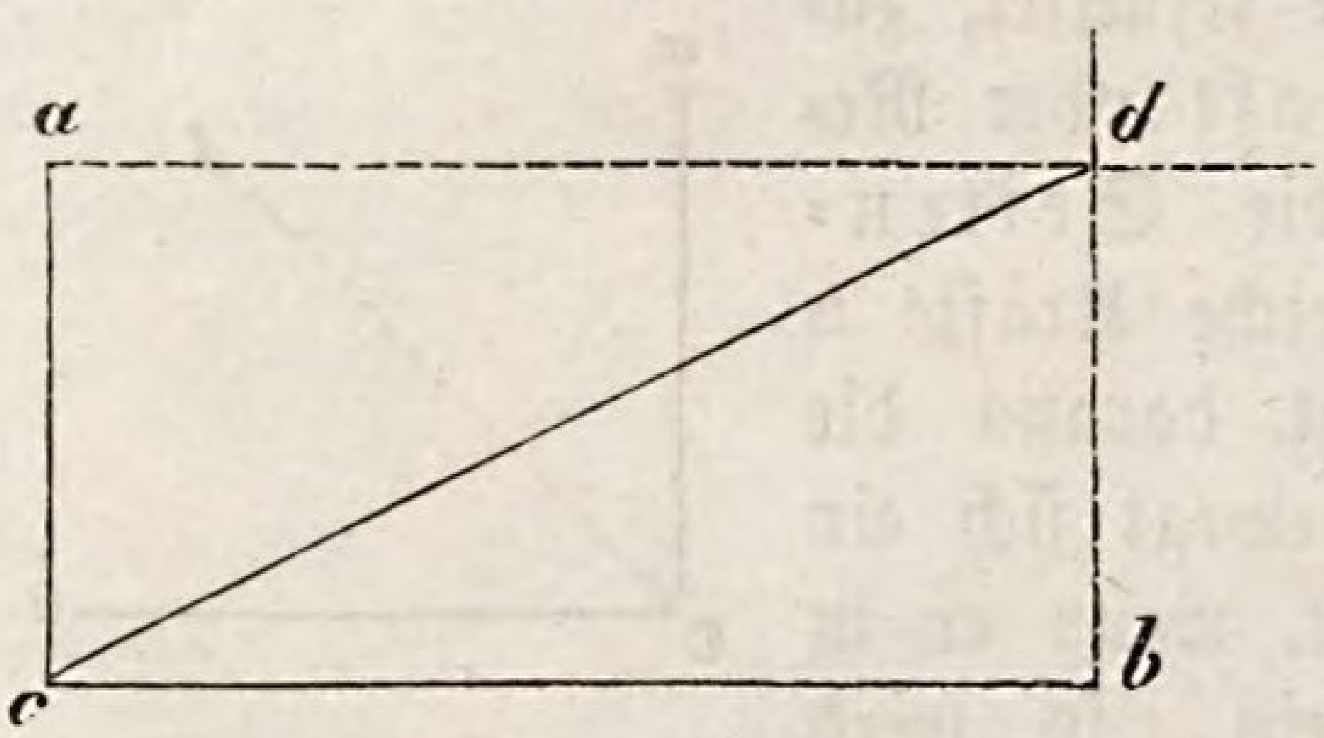


Den Effect mehrerer zusammenwirkender Kräfte versinnlicht man sich durch Construction des sog. Parallelogramms der Kräfte, das in der ganzen Mechanik eine große Rolle spielt. Dasselbe lehrt uns aber nicht nur die aus den Richtungen verschiedener Kräfte resultirende mittlere Richtung, sondern zugleich auch die mittlere Kraft oder die mittlere Geschwindigkeit kennen. Kräfte und Geschwindigkeiten verhalten sich nämlich, wie schon gesagt, stets gleich: eine gewisse Kraft ertheilt einem Körper eine gewisse Geschwindigkeit, die doppelte Kraft ertheilt ihm die doppelte Geschwindigkeit u. s. w. Es drücken nun die Linien, welche die Figur des Parallelogramms bilden, durch ihre resp. Lage den Winkel aus, unter welchem die Kräfte wirken, und durch ihre

resp. Länge die Größe der Kraft oder der Geschwindigkeit, je nachdem es der Fall erfordert.

Fassen wir Figur 1 nochmals ins Auge und denken uns die Kraft oder die Geschwindigkeit in b c doppelt so groß als in a c, so wird es alsbald einleuchten, daß unter diesen Verhältnissen die Resultante nicht mehr c d sein kann, sondern daß sie weiter nach b hin zu liegen kommen muß, denn die Kraft b hat ja an der Gesammtwirkung zu $^2/_3$ Antheil, die Kraft a nur u $^1/_3$. Die wahre Lage finden wir durch das Parallelogramm. Wir geben der Linie c b die doppelte Länge von c a, ziehen von a aus eine Parallele zu der Linie c b, von b aus die der Linie c a, und erhalten so eine geschlossene Figur, in welcher wir nur die Diagonale von c nach dem Durchschnittspuncte beider Hülfslinien in d zu ziehen brauchen, um zu wissen, welchen Weg unter den gegebenen Umständen der bewegte Körper nehmen wird.

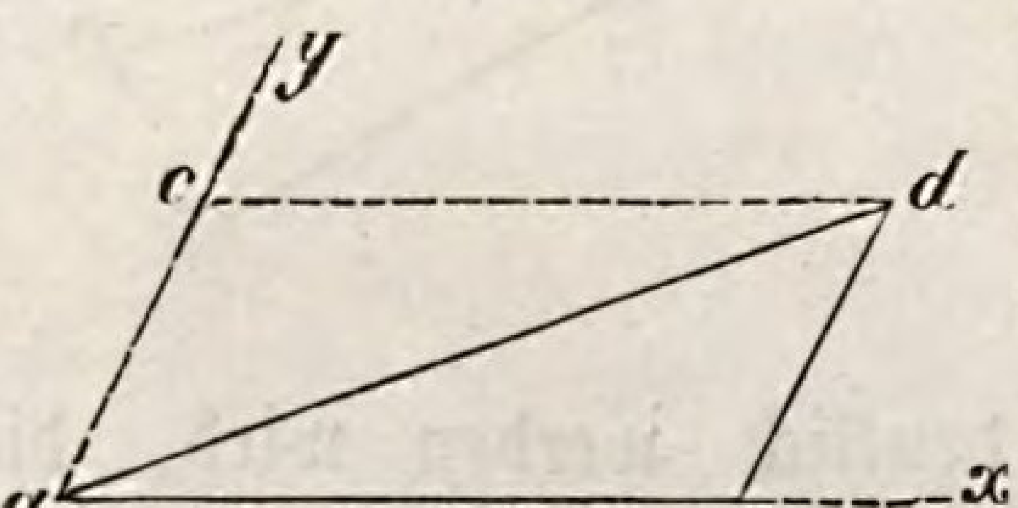
Fig. 3.



Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, daß man bei der Construction eines Parallelogramms ein gewisses einheitliches Maß, seien dies nun Zolle oder was sonst, zu Grunde zu legen und durch die ganze Operation beizubehalten hat.

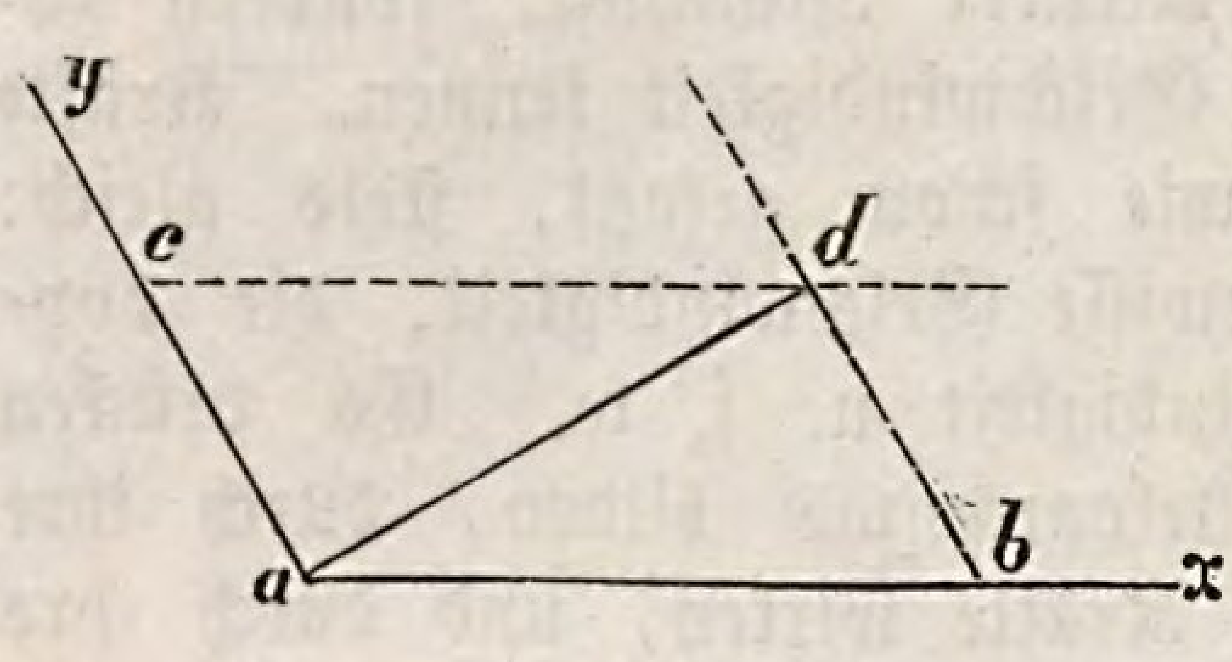
Fragen wir nun nach der Zeit, in welcher der Körper seinen Weg durchlaufen wird, also nach seiner Geschwindigkeit, so gilt der Hauptgrundsatz: ein Körper, auf welchen zwei Kräfte zugleich wirken, beschreibt die Diagonale eines Parallelogramms in derselben Zeit, in welcher er die Seiten desselben durchlaufen haben würde, wenn die Kräfte einzeln gewirkt hätten.

Fig. 4.



Es seien also a x und a y die Richtungslinien zweier Kräfte und die eine Kraft könne einen Körper in einer gegebenen Zeit, z. B. einer Secunde, von a nach c bewegen, während die andere größere ihn in derselben Zeit von a nach o bringen würde wirken nun beide Kräfte gleichzeitig, so geht der Körper in einer Secunde von a nach d. Daß dies so sein müsse, wird leicht klar werden, wenn wir uns vorstellen, daß während der Körper von x gezogen seinen Weg von a nach o macht, die ganze Linie a o, dem Zuge von y folgend, in derselben Zeit gleichmäßig sich durch die Figur bewege; das Resultat am Ende der Secunde kann dann kein anderes sein als die Ankunft des Körpers in d. Lernen wir also durch das Parallelogramm aus mehreren gegebenen Geschwindigkeiten die mittlere kennen, so ist damit zugleich auch aus mehreren Kräften die mittlere gegeben. Nehmen wir an, die Kraft y in Figur 5 sei 5 Pfd., die Kraft x 8 Pfd.,

Fig. 5.

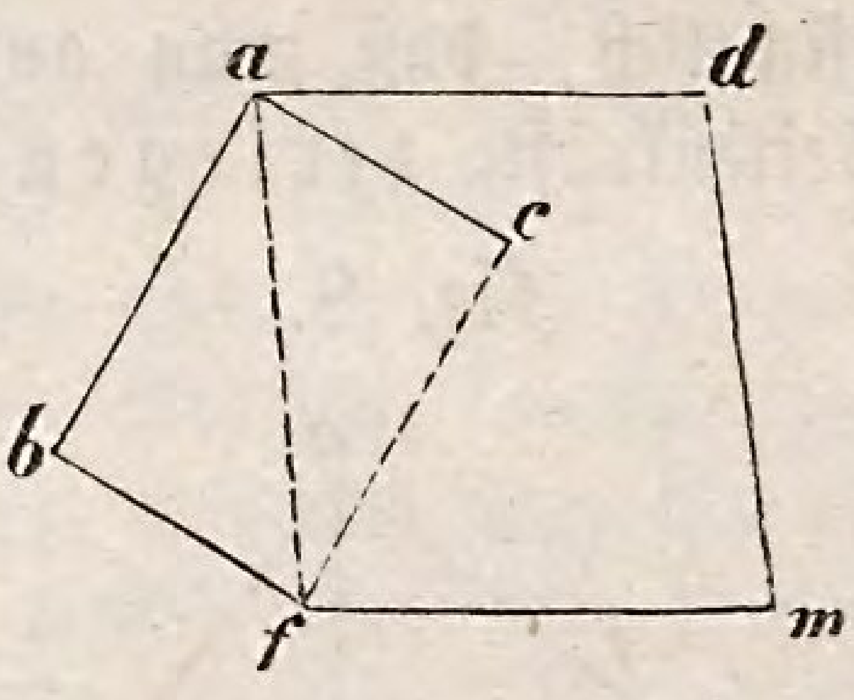


so dürfen wir nur dafür sorgen, daß die Linie a c 5 Maßeinheiten, etwa Zoll, lang sei, die Linie a b 8 Einheiten. Zieht man nun die Parallellinien und die Diagonale, und letztere fände sich z. B. $6\frac{1}{2}$ Zoll lang, so sagt dies, unter dem Einflusse beider Kräfte, 5 Pfd. nach c und 8 Pfd. nach b, bewegt sich der Körper a in der Richtung a d und zwar so, als ob er dahin einzig durch eine Kraft von $6\frac{1}{2}$ Pfd. gezogen würde.

Aus vorstehenden Beispielen ergiebt sich zugleich, daß beim Zusammenwirken mehrerer Kräfte unter irgend welchen Winkeln stets eine verminderte Geschwindigkeit, mithin ein Kraftverlust eintreten muß, und zwar wird dieser um so größer sein, je größer die Winkel sind, welche die Richtungslinien der Kräfte mit einander bilden. Es ergiebt sich dies schon aus dem mathematischen Grundsatze, daß die Diagonale eines Parallelogramms niemals der Summe von zwei seiner Seiten gleich sein kann, ist aber auch sonst leicht begreiflich. Wirken die Kräfte in einer und derselben Richtung zusammen, so ist ihre Wirkung der Summe aller einzelnen gleich; wirken sie direct entgegengesetzt, so neutralisiren sie sich, so weit sie gleich groß sind. Zwischen diesen beiden Extremen liegen nun alle möglichen Winkel, und es ist klar, daß der Kraftverlust um so kleiner oder größer sein muß, jemehr die resp. Lage der Richtungslinien der einen oder der anderen Grenze sich nähert. Die stumpfesten Winkel ergeben demnach die größten, die spitzesten die kleinsten Verluste. Der Kräfteverlust für jeden einzelnen Fall findet man durch einfaches Abziehen der Resultante von der Gesammtsumme der einzelnen Kräfte.

In derselben Weise, wie aus zwei Kräften die Resultante gefunden wird, findet man sie auch, wenn 3 und mehr Kräfte auf einen Punct eines Körpers wirken, indem man immer 2 und 2 zu einer einzigen vereinigt. Man hat zu dem Ende zuerst aus zwei Kräften, wie dies in vorstehenden Beispielen geschehen ist, die mittlere Kraft zu suchen, diese Resultante mit der dritten Kraft zu einem Parallelogramm zu verbinden u. s. w., wodurch man endlich eine mittle Kraft erhält, welche sämmtliche Seitenkräfte repräsentirt.

Fig. 6.

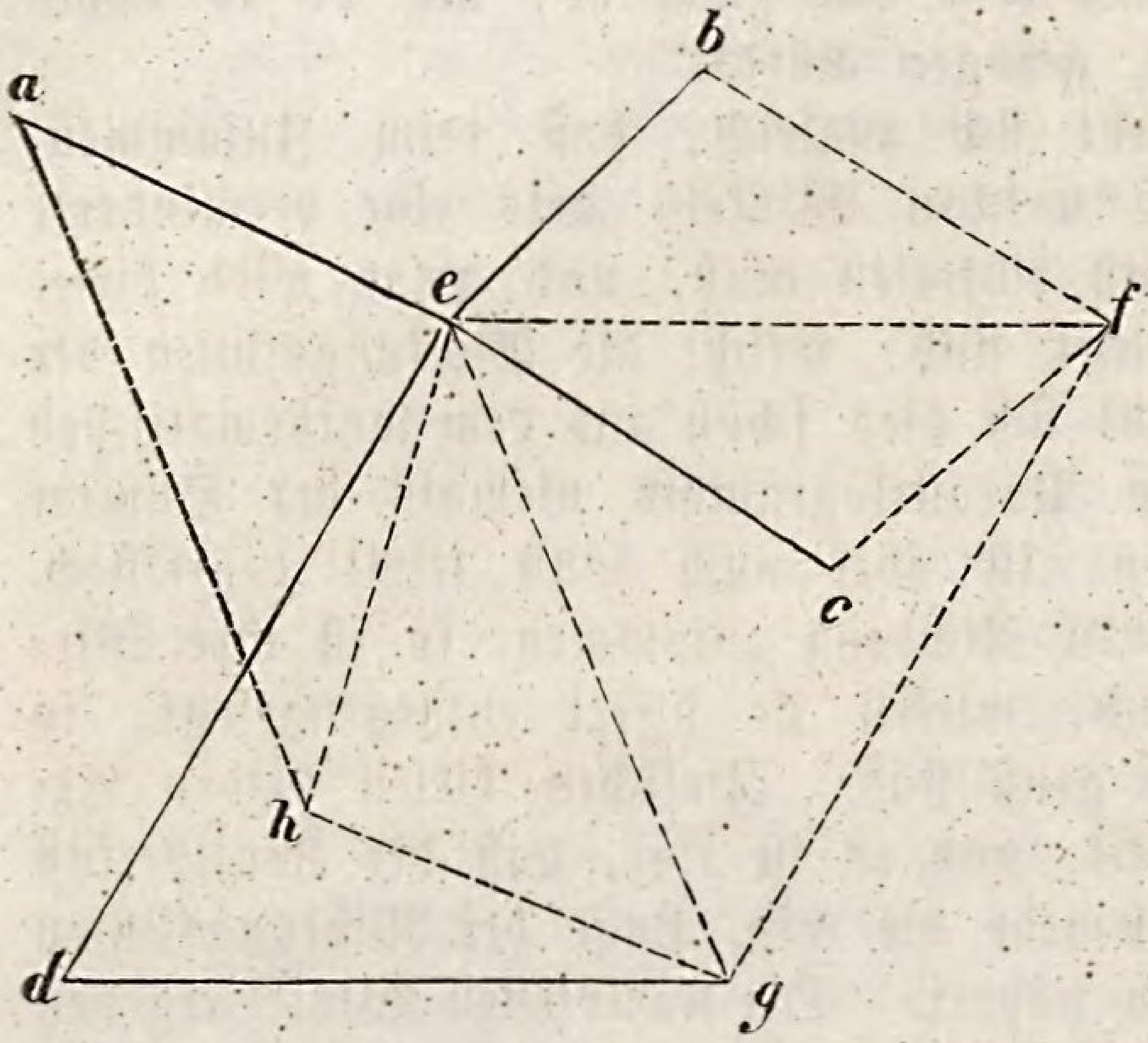


So geben z. B. in nebenstehender Figur die Kräfte a b und a c die Mittelkraft a f, diese mit a d giebt die Mittelkraft a m, und a m ist also die Resultante der drei Kräfte a b, a c und a d.

In dem folgenden Beispiele haben wir vier Kräfte a b c d, welche alle auf den Punct e wirken. Das Verfahren bleibt dasselbe. Man construirt zuerst aus zweien, z. B. e b und e c ein Parallelogramm, dann mit der gefundenen Diagonale e f und der dritten Kraft e d das zweite, wobei man als Mittel der drei Kräfte die Diagonale e g erhält. Wird endlich mit dieser Diagonale und der vierten Kraft e a ein Parallelogramm construirt, so stellt die Diagonale e h die vereinigte Größe und Richtung aller vier Kräfte vor.

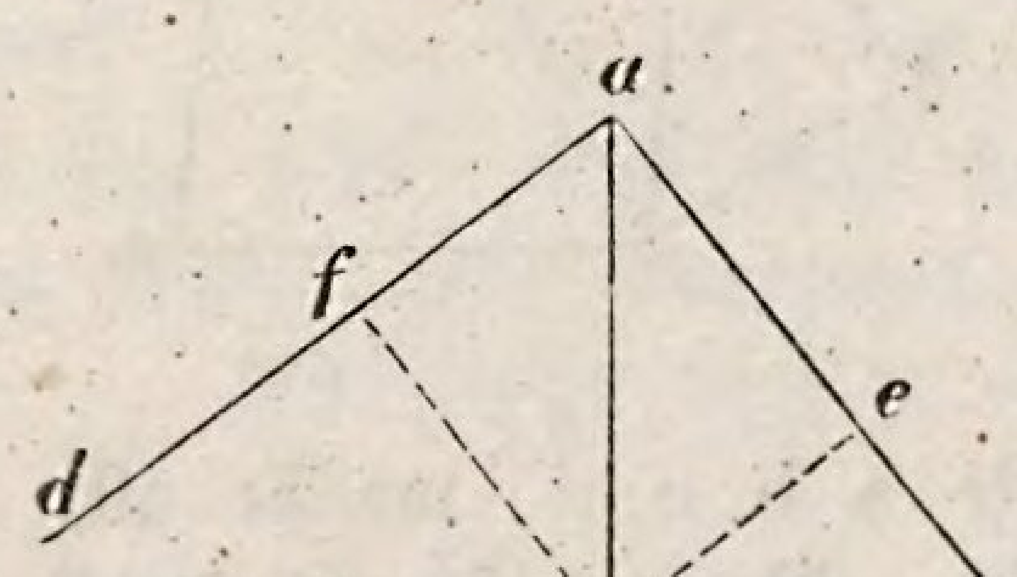
Wir begegnen täglich einer Menge von Fällen, in denen ein Körper von mehreren Kräften zugleich in Bewegung gesetzt wird. Eine abgeschossene Kugel folgt der Triebkraft des Pulvers und der Schwerkraft, und kann überdies noch durch einen Seitenwind von ihrer Richtung abgelenkt werden. Ein Boot, welches quer über einen Strom gerudert wird, gelangt nicht zu der Stelle, gegen die es rudert, sondern beschreibt eine Diagonale, wie sie sich aus den beiden bewegenden Kräften, der Kraft der Ruder und der des Stromes ergiebt. Andere Beispiele geben der Papierdrache, auf welchen die Schnur und der Wind wirken, der Flug der Vögel u. s. w. Bei schweren Rammblöcken, die nur durch die vereinte Kraft mehrerer Menschen gehoben werden können, geht das Hauptseil in mehrere Stränge aus, an welchen die Einzelnen ziehen, und wir haben hieran eine verkörperte Darstellung der Componenten und der Resultante. Die Kugel, welche der Kunstreiter auf dem galoppirenden Pferde stehend in die Höhe wirft, durcheilt ebenfalls die Diagonale eines Parallelogramms, da sie von zwei Kräften bewegt wird, einer horizontal wirkenden durch den Lauf des Pferdes, und einer senkrecht wirkenden durch den Wurf des Reiters.

Fig. 7.



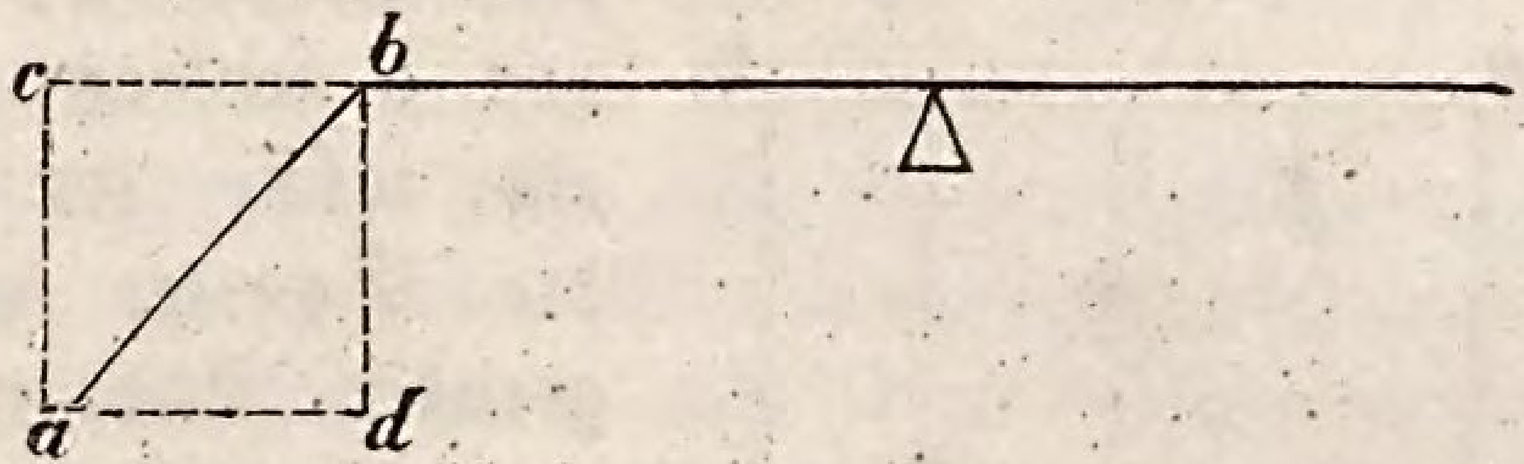
Läßt sich nun durch Ziehung des Parallelogramms auf einfache Weise aus mehreren Kräften die Resultante, der Gesammteffect finden, so ist leicht ersichtlich, daß man auf demselben Wege auch eine gegebene Kraft in beliebige Seitenkräfte z e r l e g e n kann, indem man erstere als eine Resultante betrachtet. Es drücke die zu a senkrechte Linie die Richtung und Größe einer gegebenen Kraft aus; dieselbe soll in zwei Seitenkräfte in den Richtungen a c und a d zerlegt werden, so haben wir nur die Parallelen vom äußern Ende der senkrechten Linie aus zu ziehen, um in a f und a e den Ausdruck für die beiden neuen Kräfte zu finden, die der ursprünglichen Kraft gleich wirken. Wie mit der Zerlegung noch weiter fortgefahren werden könne, ergiebt sich aus den vorhergegangenen Beispielen. Eine solche Zerlegung wird in der Praxis nicht selten erforderlich. Gesetzt es solle im vorliegenden Falle die Kraft auf den Punct a wirken, es sei aber aus irgend einem Grunde unthunlich, sie direct dahin zu führen, so finden wir auf diese Weise, wie groß zwei disponible Seitenkräfte sein müßten, um in a dieselbe Wirkung hervorzubringen.

Fig. 8.



Denkt man sich eine Stange, die auf einer Unterlage im Gleichgewicht und um dieselbe drehbar liegt, und nimmt an, es wirke eine Kraft, deren Richtung und Größe durch die Linie a b ausgedrückt ist, ziehend auf den einen Endpunkt der Stange, so leuchtet ein, daß der Zug hier nicht unter den günstigsten Verhältnissen angebracht ist, sondern daß er mehr ausrichten würde, wenn er in senkrechter Linie wirkte.

Fig. 9.



Um zu sehen, wie groß hier der Kraftverlust ist, oder mit andern Worten, um wie viel kleiner bei gleicher Wirkung die Kraft sein könnte, wenn sie senkrecht wirkte, kann man sich die Kraft a b ebenfalls in zwei Kräfte zerlegt denken, deren eine, nach c gehend, in der Verlängerung der Stange liegt, die andere senkrecht nach d fällt. Da nun die Seitenkraft c b in Folge ihrer Richtung gar nichts zur Drehung der Stange wirken kann, so liegt die ganze Kraftäußerung in b d, und das Längenverhältniß dieser Linie zu a b drückt aus, wie viel im letztern Falle an Kraft gewonnen, also im erstern verloren wird.

Krummlinige Bewegungen.

Die Wurfbewegungen. Wie wir sahen, geht ein Körper, auf den eine Kraft wirkt, in der Richtung dieser Kraft geradlinig fort; sehen wir daher einen Körper eine krummlinige Bahn beschreiben, so sagt uns dies, daß wenigstens zwei Kräfte in verschiedenem Sinne auf ihn wirken müssen. Ein geworfener Körper folgt der Wurfkraft und der Schwerkraft: seine Bewegung ist eine freie krummlinige; unfrei krummlinig wird sie, wenn wir uns den Körper in Zusammenhang mit einem festen Punkte, z. B. mittelst eines Fadens denken.

Wird eine Kugel horizontal abgeschossen, so wirkt in dem Moment, wie sie aus dem Rohre tritt, auch bereits die Schwere auf sie ein, ganz so als wenn sie gar keine horizontale Bewegung erhalten hätte und lediglich herunterfiele. Ihre Bewegung ist also das Resultat von zwei Kräften, welche unter einem rechten Winkel auf dieselbe wirken, und es gelten demnach hier dieselben Gesetze wie beim Parallelogramm der Kräfte. Nun wirkt aber die Schwere stetig fort und ertheilt der Kugel eine rasch wachsende Fallgeschwindigkeit, wie uns aus dem früher Gesagten bekannt ist; der Einfluß der Schwere wird also gegen die Wurfkraft mit jedem Moment überwiegender und die Bahn der Kugel wird demnach keine gradlinige, sondern muß eine eigenthümlich nach der Erde zu sich krümmende werden; sie wird eine Parabel beschreiben. Es werde z. B. eine Kugel in einer Höhe von 140 Fuß über der Erde in der Richtung a b abgeschossen. Anstatt in dieser Richtung fortzugehen, wird sie sich am Ende der ersten Secunde in a' befinden und um 15 Fuß gefallen sein; nach der zweiten Secunde ist sie bis b' vorwärts und um 60 Fuß von der

horizontalen Linie abwärts gegangen; am Ende der dritten Secunde befindet sie sich 135 Fuß tief und bei c', und nach der vierten Secunde endlich erreicht sie in d, 240 Fuß tief, die Erde. Genau dieselbe Zeit, vier Secunden, würde die Kugel gebraucht haben, um von a senkrecht nach c zu fallen. Wenn es auch scheint, als müsse die Kraft des Pulvers im ersten Moment die Schwere unwirksam machen und die Kugel in gerader Richtung forttreiben, so ist doch die Theorie durch sorgfältige mit Geschossen angestellte Versuche vollkommen bestätigt worden. Da nun der Einfluß der Schwere stets derselbe bleibt, mit welcher Geschwindigkeit sich auch der geworfene Körper bewegen möge, so ist es auch einleuchtend, daß zwei Kanonen-Kugeln, deren eine mit ganzer, die andere mit halber Ladung abgeschossen wird, in derselben Zeit die Erde berühren müssen; die erstere ist, vermöge der ihr ertheilten größern Geschwindigkeit, in derselben Zeit nur verhältnißmäßig weiter geflogen, und gelangt demnach in einer flachern Bogenlinie zur Erde.

Fig. 10.

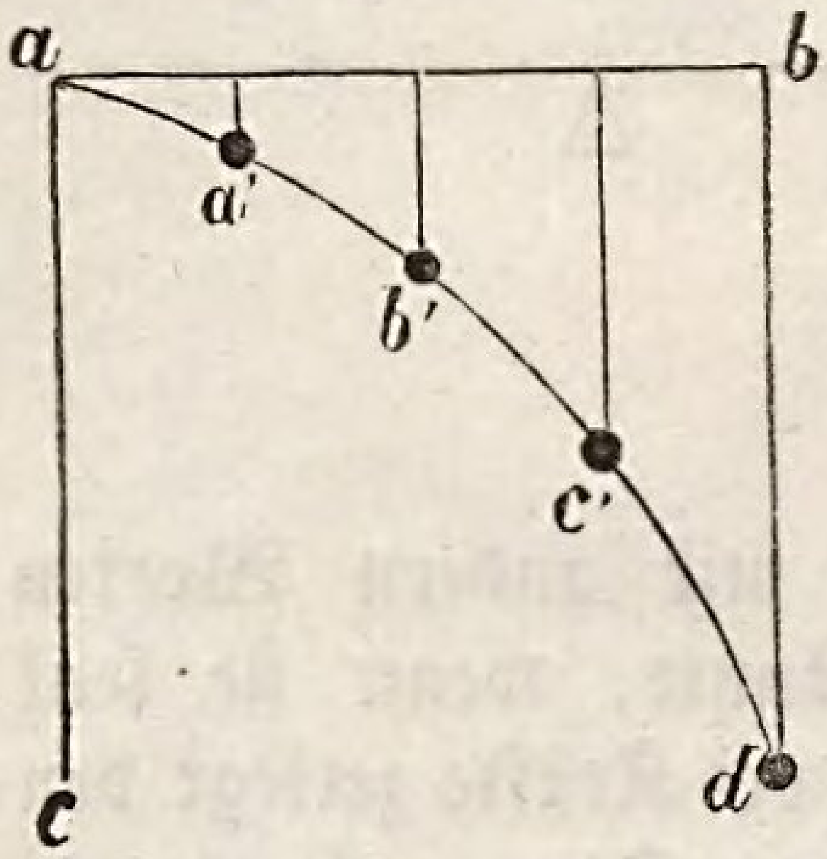
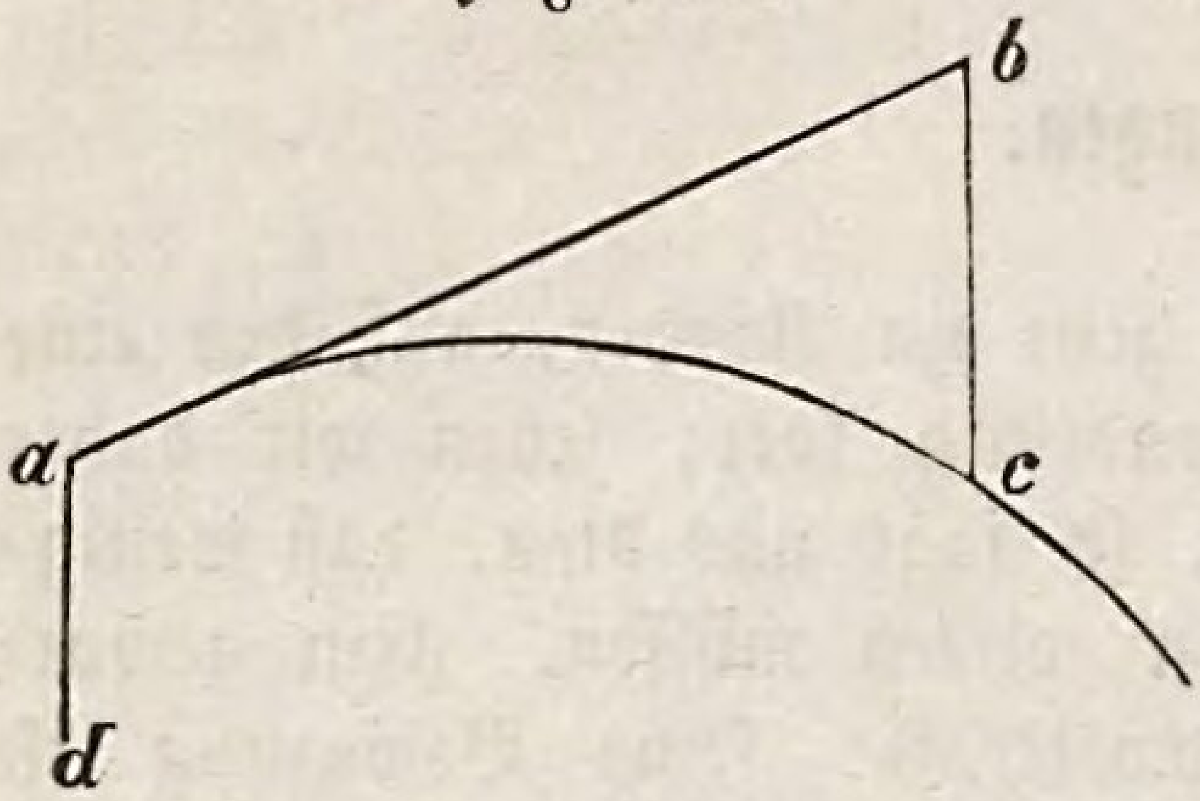


Fig. 11.



Wird ein Körper nicht in horizontaler, sondern in schräg aufwärts gehender Richtung geworfen, z. B. von a nach b, so muß er denselben Gesetzen folgen, nur wird die Curve seiner Bahn, da die beiden Kräfte hier nicht unter einem rechten Winkel zusammenwirken, eine andere sein müssen. Die nebenstehende Figur wird nun ohne weiteres verstanden werden, wenn wir sagen: ein geworfener Körper, der ohne den Einfluß der Schwere von a nach b gegangen sein würde, beschreibt in der Wirklichkeit die Parabel a c; die Schwere hat ihn also von seinem idellen Ziele b um die Distanz b c abgezogen, und genau denselben Fallraum (b d) würde er in derselben Zeit zurückgelegt haben, wenn er von a aus frei herabgefallen wäre.

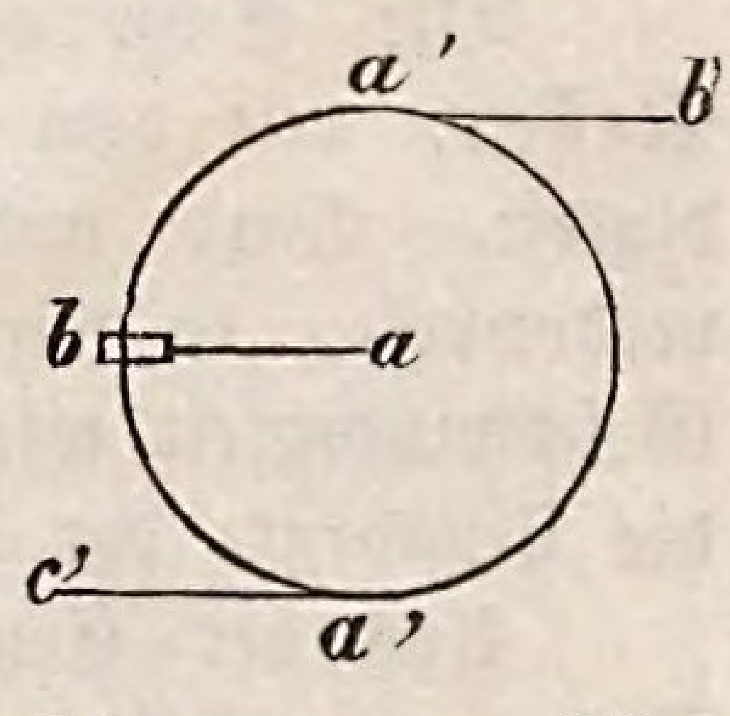
Die Krümmung der Wurflinie oder Parabel hängt von der Kraft ab, mit welcher, und von der Richtung, in welcher geworfen wird. Ein gerade aufwärts geworfener Körper erreicht eine größere Höhe als wenn er mit derselben Kraft in einer schräg ansteigenden Linie geworfen wird, aber die Wurfweite ist Null; die größte Wurfweite dagegen wird bei gleichbleibender Wurfkraft erreicht, wenn die Wurflinie einen halben rechten Winkel gegen den Horizont bildet.

Die rotirende Bewegung. Es giebt zahlreiche Maschinentheile, welche sich nur um eine feste Axe bewegen können; sie haben daher eine rotirende Bewegung. Alle Puncte eines rotirenden Körpers beschreiben Kreise in parallel zu einander und senkrecht auf der Rotationsaxe stehenden Flächen, und zwar sind die Kreise um so größer, je weiter die Puncte von der Axe entfernt liegen. Denkt man sich eine senkrechte Linie von einem Punkte aus auf die Axe

gefällt, so wird dieselbe beim Fortgange der Umdrehung mit ihrer ersten Lage verschiedene Winkel bilden. Fallen diese Winkel in gleichen Zeiträumen gleich groß aus, so ist die rotirende Bewegung des Körpers eine gleichförmige. Da die Geschwindigkeit eines Punktes mit dem Abstande von der Axe wächst, so muß ein größeres Rad einem Laufriemen eine größere Geschwindigkeit ertheilen als ein kleineres, auf derselben Axe festsitzendes Rad, obwohl die Umdrehungsgeschwindigkeit beider Räder nothwendig gleich ist. Die Drehungsgeschwindigkeit rotirender Körper ist daher nicht ohne Weiteres aus der Geschwindigkeit ihrer Oberfläche zu entnehmen, wohl aber aus dem Winkel, der sich aus der Stellung eines Radius derselben am Anfang und Ende eines bestimmten Zeittheils ergiebt. Dieser Winkel bleibt nothwendig stets derselbe, mag man sich, bei gleichem Gange, das Rad 2c. noch so groß oder klein denken. So sagt man z. B., die Erde habe bei ihrer Axendrehung eine Winkelgeschwindigkeit von 15 Grad in der Stunde. Im Maschinenwesen kommen jedoch häufig so rasche Rotationen vor, daß man ihre Geschwindigkeit lieber durch die Zahl der Umgänge in einer Zeiteinheit ausdrückt, z. B. 300 Umgänge in der Minute, oder 5 in der Secunde.

Bei allen nicht ganz langsamen Umdrehungen treten, wachsend mit der Geschwindigkeit und Größe der bewegten Massen, die Erscheinungen auf, welche mit den Ausdrücken Centrifugalkraft, Flieh-, Schleuder- oder Schwungkraft bezeichnet werden, ohne daß man dabei an wirkliche besondere Kräfte denken wollte oder dürfte. Es ist lediglich die Trägheit, das Beharrungsvermögen der Masse, welches sich hier geltend macht. Wir wissen, daß ein Körper einer auf ihn wirkenden Kraft nur in der Weise nachgeben kann, daß er sich geradlinig fortbewegt. Wird nun ein Körper in Rotation gesetzt, so erlangt jedes einzelne Theilchen desselben, und zwar um so mehr, je weiter es von der Rotationsaxe entfernt liegt, das Bestreben geradeaus zu gehen, mithin sich von der Axe zu entfernen. Der Zusammenhang der Theilchen unter sich, die Cohäsion der Masse, wird es in der Regel nicht dazu kommen lassen, doch kann man annehmen, daß es für jede Masse eine ihrer Dichtigkeit proportionelle Umlaufsgeschwindigkeit gebe, bei welcher ihr Zusammenhang aufgehoben wird und der rotirende Körper in Stücken nach allen Seiten davonfliegt. Dies soll z. B. bei Mühlsteinen in der That zuweilen vorgekommen sein.

Fig. 12.



Befestigt man einen etwas schweren Körper b an einer Schnur und schwingt ihn mit hinreichender Schnelligkeit um den Punct a, so wird, wie allbekannt, die Schnur angespannt, und zwar um so stärker, je rascher die Drehung ist, und der Körper beschreibt einen Kreis. Die Schnur verhält sich während des Drehens ganz wie ein starrer Körper und es würden alle Erscheinungen sich gleich bleiben, wenn sich an ihrer Stelle z. B. eine hölzerne Speiche befände. Ihre Spannung ist die Folge des Bestrebens des geschwungenen Körpers, sich vom Rotationscentrum zu entfernen. Wird das Band, welches den rotirenden Körper an ein Centrum fesselt, unterbrochen, also im vorliegenden

Falle etwa durch das Reißen der Schnur, so wird seine Bewegung von demselben Moment an gradlinig; er geht in einer den Kreis berührenden Linie, einer Tangente, wie a' b' oder a' c', mit der erlangten Geschwindigkeit fort; die Kraft, mit welcher dies geschieht, heißt die Tangentialkraft.

In andern Fällen ist es die Schwere, welche der Centrifugalkraft entgegenwirkt, so lange die letztere nicht das Uebergewicht erlangt hat. Auf einer Kugel, also z. B. auf der Erde, wird die Centrifugalkraft am Aequator am stärksten, an den Polen natürlich Null sein. Selbst im ersteren Falle beträgt sie auf der Erde nur $^1/_{200}$ der Schwerkraft, d. h. ein Körper verliert unter dem Aequator vermöge des dortigen größern Umschwungs $^1/_{200}$ des Gewichts, was er an einem der Pole zeigen würde; drehte sich aber die Erde 17 mal schneller, so würden beide Kräfte unter dem Aequator gleich sein; das Niederfallen der Körper würde aufhören und das Auffliegen beginnen. Diejenige Kraft, welche die geradlinige Bahn eines in Bewegung befindlichen Körpers krümmt und ihn nach einem Centrum hintreibt, heißt die Centripetalkraft. Aus ihrem Zusammenwirken mit der Centrifugalkraft resultirt eine drehende Bewegung. Ein an einer Schnur hängender schwerer Körper, dem man einen seitlichen Stoß giebt, nachdem man ihn aus seiner Gleichgewichtslage gezogen, beschreibt eine Bahn, die je nach der Stärke und Richtung des Stoßes entweder ein Kreis oder eine Ellipse sein wird. Centrifugal- und Centripetalkraft sind also, wie man hieraus sieht, nur andere Ausdrücke für Trägheit und Schwere.

Eine wagrecht liegende umlaufende Scheibe wird auf sie gelegte Körper entweder annehmen oder fortschleudern, wie es die Umstände mit sich bringen. Hierbei kommt vorzüglich in Betracht die Schnelligkeit der Umdrehung, der Abstand des Aufsatzpunctes vom Centrum, die Schwere der aufgesetzten Massen und die Beweglichkeit der sich berührenden Flächen auf einander, also der Grad der Reibung. Die Centrifugalkraft wird sich bei kleineren Kreisen stärker äußern als bei größeren, weil im ersteren Falle die Krümmung des Weges eine größere ist, also das Trägheitsbestreben des Körpers, die aufgezwungene Richtung zu verlassen und in gerader Bahn fortzugehen, stärker hervortreten muß. Es sind daher die Ausdrücke Centrifugalkraft und Schwungkraft nicht ganz gleichbedeutend, indem letzterer sich zunächst nur auf die erlangte Wucht eines rotirenden Körpers bezieht.

Die Schwungkraft wächst, wie bemerkt, mit der Größe der bewegten Massen, mit dem Halbmesser der Umlaufsbahn und mit der Umlaufsgeschwindigkeit. Wird unter übrigens gleichen Umständen die Umlaufsgeschwindigkeit verdoppelt, so wird die Schwungkraft vervierfacht; bei 3, 4 mal so großer Geschwindigkeit wird sie 9, 16 mal größer, verhält sich also umgekehrt wie die Quadrate der Umlaufszeiten.

Aus der Centrifugalkraft erklärt sich die Abplattung der Erde an den Polen und viele andere Erscheinungen, z. B. die große Triebkraft der Schleuder, die größere Wirkung eines Hammers, wenn man seinen Stiel verlängert, das Beharren des Wassers in Gefäßen, die man in irgend einer Richtung im

Kreise schleudert u. s. w. In der Mechanik findet sie nützliche Anwendung z. B. bei dem Dampfmaschinenregulator und der Centrifugaltrockenmaschine.

Vom Schwerpunkt.

Die bisher behandelten Gesetze beschäftigen sich mit der Bewegung der Körper, ohne auf eine bestimmte Form derselben Rücksicht zu nehmen. Man hat sich dabei den bewegten Körper gleichsam in einen Punkt zusammengedrängt zu denken, oder anzunehmen, alle Punkte desselben bewegten sich in gleicher Weise. Da indeß die Körper auch mit Rücksicht auf die Bewegung ihrer einzelnen Theile betrachtet werden müssen und hierbei vorzugsweise der Schwerpunkt eine Rolle spielt, so wollen wir zunächst diesen Gegenstand ins Auge fassen.

Jedes Atom der Materie wird gleichmäßig nach dem Erdkörper hingezogen. Bilden die Atome einen festen Körper, so können sie sich nicht abgesondert bewegen, sondern concentriren gleichsam ihr Gewicht in einem gewissen Punkte des Körpers. Wird dieser Punkt unterstützt oder in der Schwebe gehalten, so bleibt die ganze Masse im Gleichgewicht oder Ruhestande. Diesen Punkt nennt man den Schwerpunkt. Legt man einen Stock quer über den Finger, so wird man einen Punkt finden, auf welchem derselbe in der Schwebe bleibt, während er, in irgend einem andern Punkte unterstützt, herunterfallen wird. Dies ist der Schwerpunkt des Stockes. Die Masse und folglich das Gewicht des Stockes wird auf beiden Seiten gleich sein. Der Schwerpunkt erscheint als derjenige Punkt, welcher immer die möglichst tiefste Lage einzunehmen strebt. Wird der Schwerpunkt eines festen Körpers gehoben, so hebt man die ganze Masse. Eine Eisenstange, welche ihrer ganzen Länge nach gleich stark und dicht ist, wird den Schwerpunkt genau in der Mitte haben. Hängt man ein Dreieck von Holz oder anderm Stoff frei auf und läßt ein Bleiloth herabfallen, so wird die Schnur von jeder Ecke aus das Dreieck genau in zwei Hälften theilen. Wo in der Mitte die Linien sich schneiden, befindet sich der Schwerpunkt des Dreiecks. Wird ein unregelmäßig gestalteter Körper, z. B. eine Malerpalette, an verschiedenen Punkten aufgehangen, so werden sich die Linien ebenfalls in einem gewissen Punkte schneiden und dergestalt den Schwerpunkt anzeigen. Eine vom Schwerpunkt aus senkrecht nach der Erde gedachte Linie heißt die Schwerpunktslinie. Sie ist von besonderer Wichtigkeit; denn wenn ein Körper so aufgestellt wird, daß diese Linie außerhalb seiner Basis fällt, so muß er nothwendig umfallen. Ein Karren mit Steinen oder Eisen beladen kann auf unebenem Wege eine beträchtliche

Fig. 13.

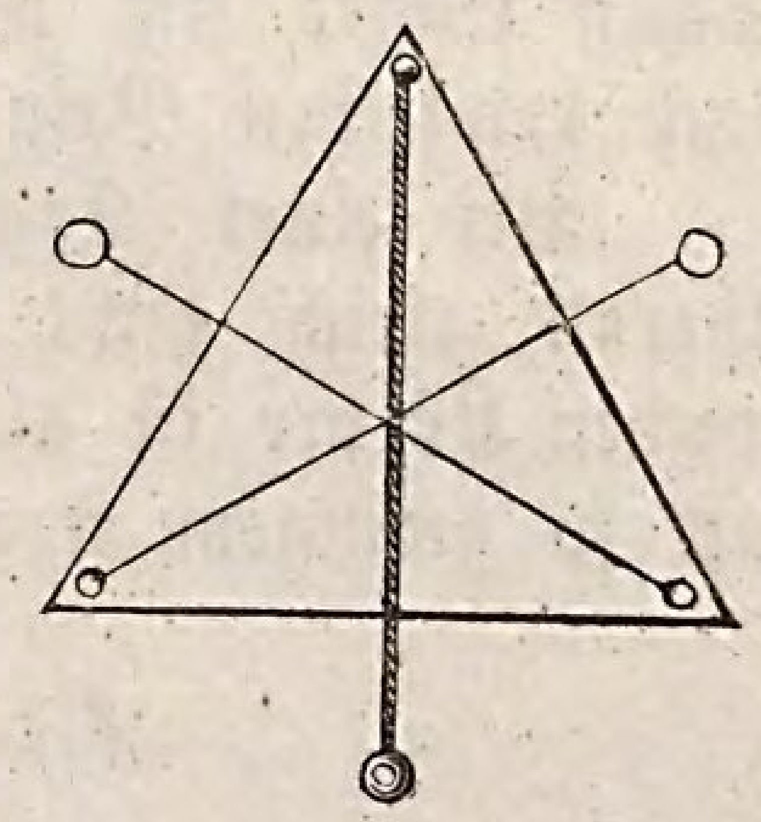
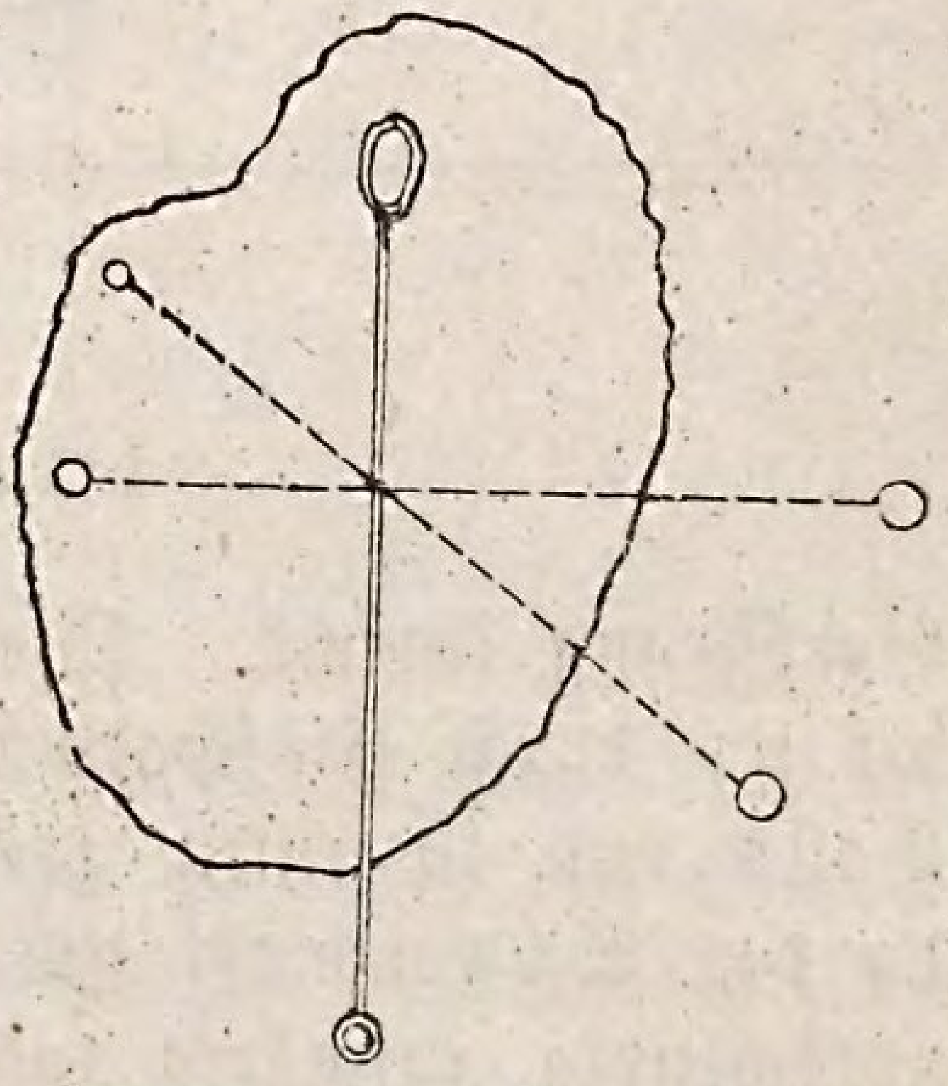
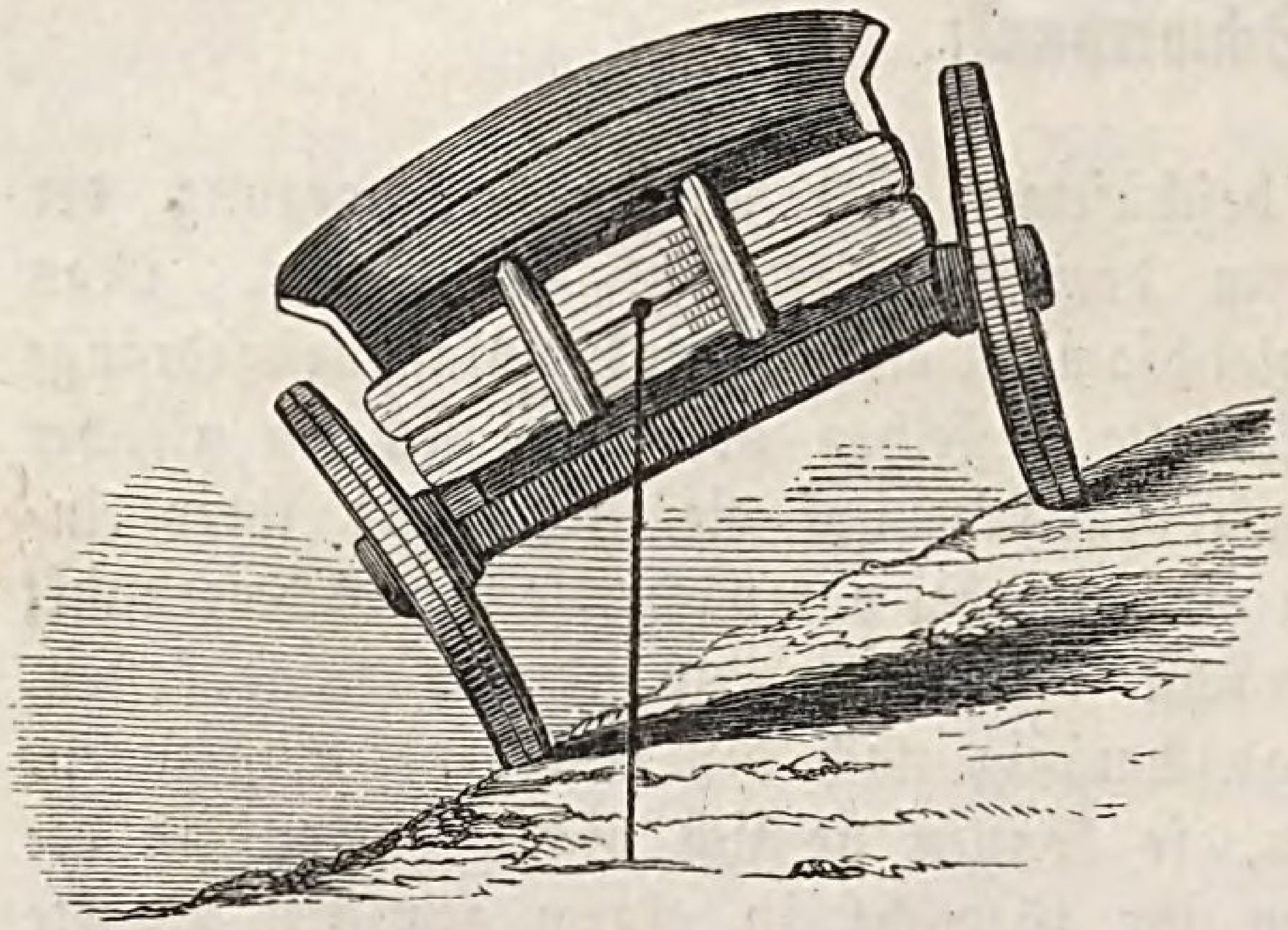


Fig. 14.



Neigung annehmen ohne umzuwerfen. Denkt man sich aber dasselbe Fuhrwerk mit einer hochgestapelten Ladung von Wolle, Heu u. dgl., so würde der

Fig. 15.

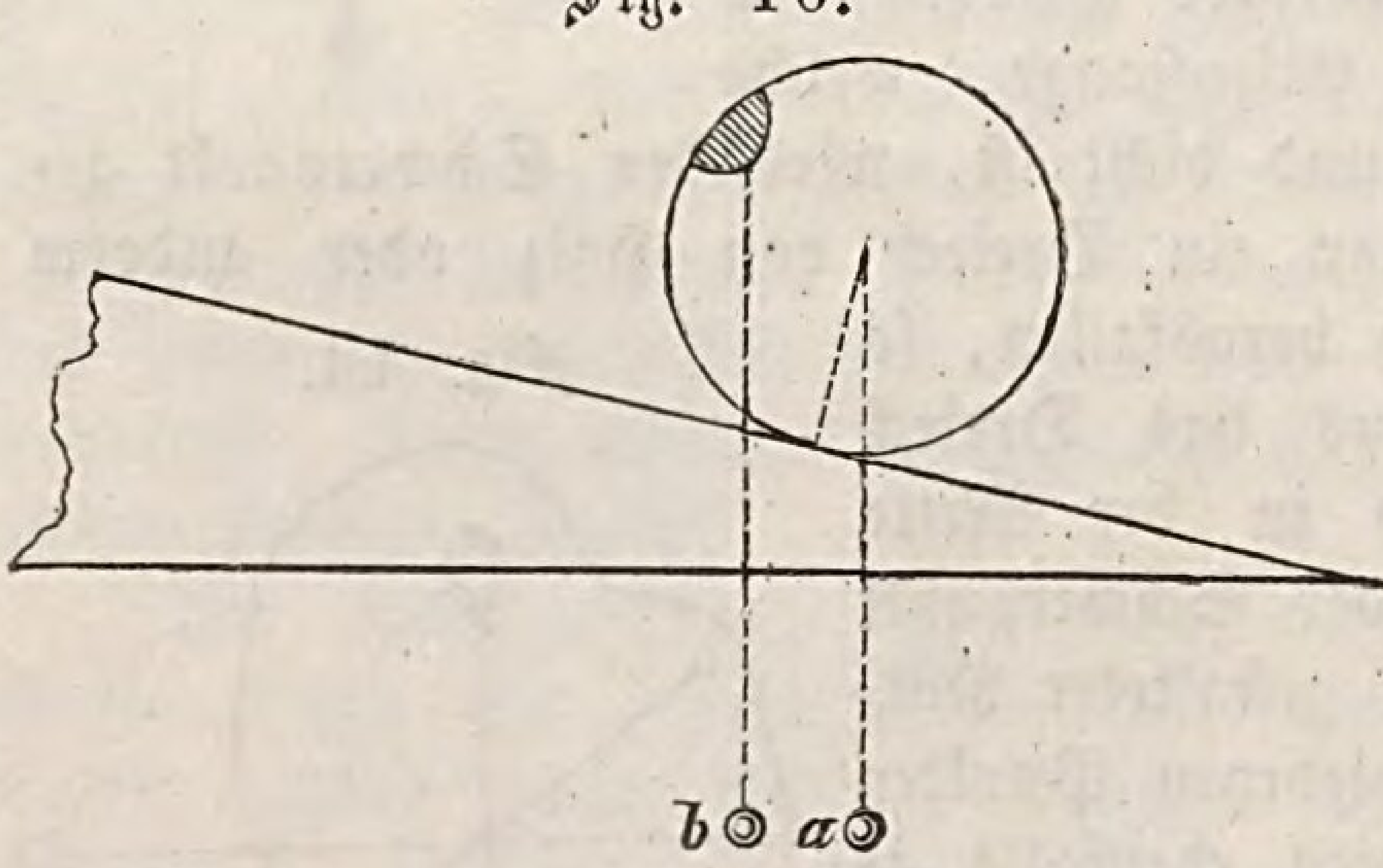


Schwerpunkt des Ganzen viel höher zu liegen kommen und die Schwerpunktslinie also schon außerhalb der Räder fallen; das Fuhrwerk würde mithin in diesem Falle umgeworfen werden. Je näher daher der Schwerpunkt nach der Basis eines Körpers zu liegt und je genauer die Schwerpunktslinie in die Mitte desselben fällt, desto größer ist die Stabilität des Körpers.

Ein Schiff in See kann durch einen Windstoß umgestürzt werden, sofern es nicht so viel Ballast führt, daß der Schwerpunkt tief genug liegt, um den Masten und dem Takelwerk das Gegengewicht zu halten; ist das Schiff aber nur nahe am Kiel belastet, so hat es einen unangenehm schlingernden Gang. Ein richtig beladenes Schiff richtet sich nach einem Windstoß wieder auf, in derselben Weise und nach demselben Princip, wie das Stehaufchen der Kinder.

Bei einer Kugel liegt der Schwerpunkt, vorausgesetzt daß ihre Masse überall gleich dicht ist, genau im Centrum; die Basis der Kugel wie aller runden Körper ist aber ein bloßer Punkt, und daher kommt es, daß eine Kugel mit so geringem Kraftaufwand in Bewegung gesetzt werden kann.

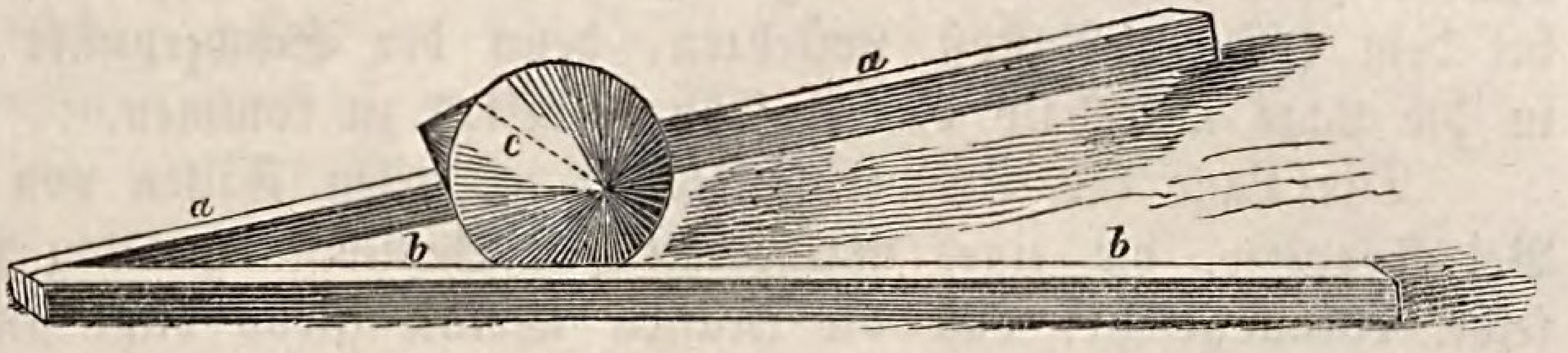
Fig. 16.



Ein runder Körper rollt auf einer schiefen Ebene rasch hinab, weil seine Schwerpunktslinie hier neben die Basis fällt, mithin sein Schwerpunkt nicht unterstützt ist. Ein Cylinder von leichtem Holz, in welchen ein Stück Blei eingesetzt ist, wird, wenn man ihn in der in der Zeichnung ersichtlichen Stellung auf eine schiefe Fläche setzt, bergan laufen müssen, natürlich nur so weit, bis das Blei mit der schiefen Fläche in Berührung kommt. Die Schwerpunktslinie des bloßen Holzcylinders war die bei a; durch Einschaltung des Bleies ist sie nach b auf die andere Seite der Basis und in einen größern Abstand von derselben verlegt; es muß mithin, da der Schwerpunkt des Cylinders seine tiefste Lage einzunehmen strebt, dieser nothwendig aufwärts rollen. Hieraus ist ersichtlich, wie wesentliche Hülfe ein Fuhrmann seinen Pferden beim Berganziehen eines schweren Wagens leistet, wenn er in die Speichen eines Rades tritt.

Legt man zwei glatte Leisten so, daß sie einen spitzen Winkel bilden und mit ihren offenen Enden etwas höher liegen, und legt an die tiefste Stelle zwischen dieselben einen Doppelkegel von schwerem Holz oder Metall, so wird derselbe in Bewegung kommen und scheinbar die schiefe Fläche hinanlaufen. Ein wirkliches Aufwärtssteigen hat dabei natürlich nicht stattgefunden, vielmehr ist der Kegel am Ende seines Weges mit seinem dicksten Theile, folglich mit seinem Schwerpunkte der Erde näher gekommen; bei dem immer weiteren Auseinandertreten der Leisten kamen immer verjüngtere Partien des Doppelkegels zur Auflage, und der Körper mußte sich drehen, bis er seinen Ruhepunkt gefunden.

Fig. 17.



Der berühmte Thurm zu Pisa ist 190 Fuß hoch und steht so schief, daß er oben 12 Fuß von der Lothlinie abweicht; da indeß seine Schwerpunktslinie noch innerhalb seiner Basis fällt, so steht er fest, so lange der Mörtel ihn zusammenhält. Ein ähnliches Beispiel ist der schiefe Thurm zu Bologna, 134 Fuß hoch mit 9 Fuß Ueberhang.

Seiltänzer führen, um sich auf ihrer schmalen Basis zu erhalten, eine lange Stange mit sich, die an beiden Enden mit Blei beschwert ist. Sie halten sie quer über das Seil, und indem sie den Blick auf irgend einen festen Punkt richten, bemerken sie, ob ihr Schwerpunkt sich nach der einen oder andern Seite neigt, und stellen dann durch eine Bewegung mit der Stange sofort das Gleichgewicht wieder her.

Bei jeder Bewegung thut man gleichsam instinctmäßig, was erforderlich ist, um den Körper im Gleichgewicht zu erhalten. Wer auf einem Beine steht, bringt das schwebende Bein, gleichsam wie eine Balancirstange, nach hinten. Steigt man eine Treppe hinan, so neigt sich der Körper nach vorn, damit der Schwerpunkt mit den Füßen vorwärts gehe. Bei einem Sitzenden liegt der Schwerpunkt im Sitze; wer daher aufstehen will, zieht die Füße an sich und beugt den Oberkörper vor, damit der Schwerpunkt gerade über die Füße zu liegen komme. Beim Gehen dient abwechselnd bald der eine, bald der andere Fuß dem Körper als Basis, daher die schwankende Bewegung des Körpers. Wer eine Last auf dem Rücken trägt, beugt sich nach vorn, beim Tragen auf der Brust nach hinten und beim Tragen auf einer Schulter nach der entgegengesetzten Seite.

Der Schwerpunkt liegt nicht immer im Körper selbst, sondern zuweilen auch in dem Raume, welchen er umschließt. Dies ist der Fall bei Ringen, durchbohrten Cylindern, Hufeisen u. dgl. Bei einem Ringe liegt er offenbar in der Mitte des Raumes, den derselbe umschließt.

Nehmen wir eine hölzerne Scheibe, bohren an ihrem Rande ein Loch und

ziehen einen Faden hindurch, so wird die Scheibe an diesem unbeweglich hängen. Bohren wir das Loch genau in das Centrum, so daß der Unterstützungspunkt mit dem Schwerpunkt zusammenfällt, so bleibt die Scheibe in jeder Lage, die wir ihr geben, in Ruhe. Bringen wir aber das Loch unterhalb des Mittelpunktes an, so wird die Lage der Scheibe eine höchst unstabile; sie wird sich bei dem leisesten Anstoß umkehren, denn der Schwerpunkt hat das Bestreben, in die Lage unterhalb des Aufhängepunktes zu kommen.

Die Lage des Schwerpunktes ist in vielen Fällen von großer Wichtigkeit. Bei Körpern, die einer mathematischen Bestimmung fähig sind, läßt sich derselbe, vorausgesetzt, daß die Massen überall gleich dicht sind, durch Rechnung finden. Hat ein regelmäßiger Körper so wenig Dicke, daß man ihn als eine bloße Fläche behandeln kann, so ist die Aufsuchung des Schwerpunktes ganz einfach. Eine Scheibe aus Blech z. B. wird den Schwerpunkt im Centrum, ein Parallelogramm denselben an der Stelle haben müssen, wo seine beiden Diagonalen sich schneiden. Bei der Kugel liegt der Schwerpunkt im Mittelpunkte, bei dem Cylinder und dem senkrechten Prisma in der Hälfte der Axe, bei dem Kegel zwar auch in der Axe, doch so, daß er um $^3/_4$ derselben von der Spitze und um $^1/_4$ von der Grundfläche absteht. Hängt man an das eine Ende einer 5füßigen Eisenstange 1 Pfund Gewicht, an das andere Ende 4 Pfund, so liegt natürlich der Schwerpunkt nicht mehr in der Mitte der Stange, sondern einen Fuß von dem schwerern Gewicht entfernt, denn das einpfündige Gewicht und 4 Fuß von der Stange sind erforderlich, um der andern Seite das Gleichgewicht zu halten. Es stehen also beide Längen der Stange genau im umgekehrten Verhältniß zu den Gewichten, hier 1 zu 4.

Schösse man aus einer Kanone eine Kugel, an welcher mittelst einer Kette eine kleinere Kugel hinge, so würden beide Kugeln sich um einen Schwerpunkt drehen müssen, der zwischen ihnen in der Kette und zwar näher der größern Kugel liegen wird, entsprechend dem relativen Massenverhältniß beider Kugeln. Sonne und Erde sind durch die Attraction mit einander verbunden, und haben daher ebenfalls einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt. Setzen wir die Masse der Erde gleich 1, die der Sonne gleich 354,936, so fällt der Schwerpunkt etwa 40 Meilen vom Mittelpunkte der Sonne, was $^1/_{3300}$ ihres Durchmessers beträgt. Erde und Mond kreisen vermöge der Attraction um die Sonne und verhalten sich gegen diesen großen Körper wie eine einzige Masse. Beide Körper werden durch die Attraction zusammengehalten, wie die große und die kleine Kugel durch die Kette, und haben ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, der durch sein Fortrücken die Linie der Bahn beschreibt, die beide Körper miteinander durchlaufen. Da die Masse des Mondes nur $^1/_{70}$ von der der Erde beträgt, so fällt der Schwerpunkt noch ein wenig unterhalb der Erdoberfläche.

Alle Balancirkünste beruhen darauf, daß der Schwerpunkt des zu balancirenden Stücks beständig in der Schwerpunktslinie erhalten oder bei kleinen Abweichungen sofort dahin zurückgebracht werde, ehe ein Umschlagen stattfinden kann. Leichte und kurze Körper sind schwieriger zu balanciren als schwere und lange; erstere, weil in ihnen die Stelle des Schwerpunkts sich nicht so gut

bemerken läßt, letztere, weil ihr Schwerpunkt beim Umschlagen einen Bogen von allzu geringem Halbmesser beschreibt und daher zu wenig Zeit gelassen ist, die Basis unterzuschieben und das Umschlagen zu verhindern.

Regelmäßig geformte Körper, deren Schwerpunkt in irgend einer durch sie gezogenen mittlern Axe liegt, erhalten sich kürzere oder längere Zeit auf einer Spitze im Gleichgewicht, welche in der Verlängerung jener Axe liegt, sobald sie in rasche Umdrehung versetzt werden. Bei diesen Spindel- oder Kreiselbewegungen wirkt die um die Axe gleichmäßig vertheilte Masse in der Weise eines Schwungrades; der Schwerpunkt, welcher fortwährend nach allen Seiten zu fallen strebt, wie an dem beständigen Schwanken zu sehen ist, wird durch die Rotation immer wieder in seine mittlere Lage zurückgebracht; es ist die Centrifugalkraft, welche von allen Seiten gleichmäßig ziehend auf die Axe wirkt und sie vor dem Umfallen sichert. Bei gut construirten Apparaten der Art ist gar kein merkliches Schwanken vorhanden; die Axe erhält durch die Rotation eine unveränderlich senkrechte Lage und behält sie selbst dann bei, wenn man der Ebene, worauf der Kreisel läuft, eine geneigte Lage giebt oder wenn man den kreisenden Körper umzuwerfen versucht. Natürlich ist der Gang um so ruhiger, je näher der Schwerpunkt, also die Hauptmasse des Kreisels nach der Basis zu liegt, und je schwerer die ganze Masse in Bewegung zu setzen ist.

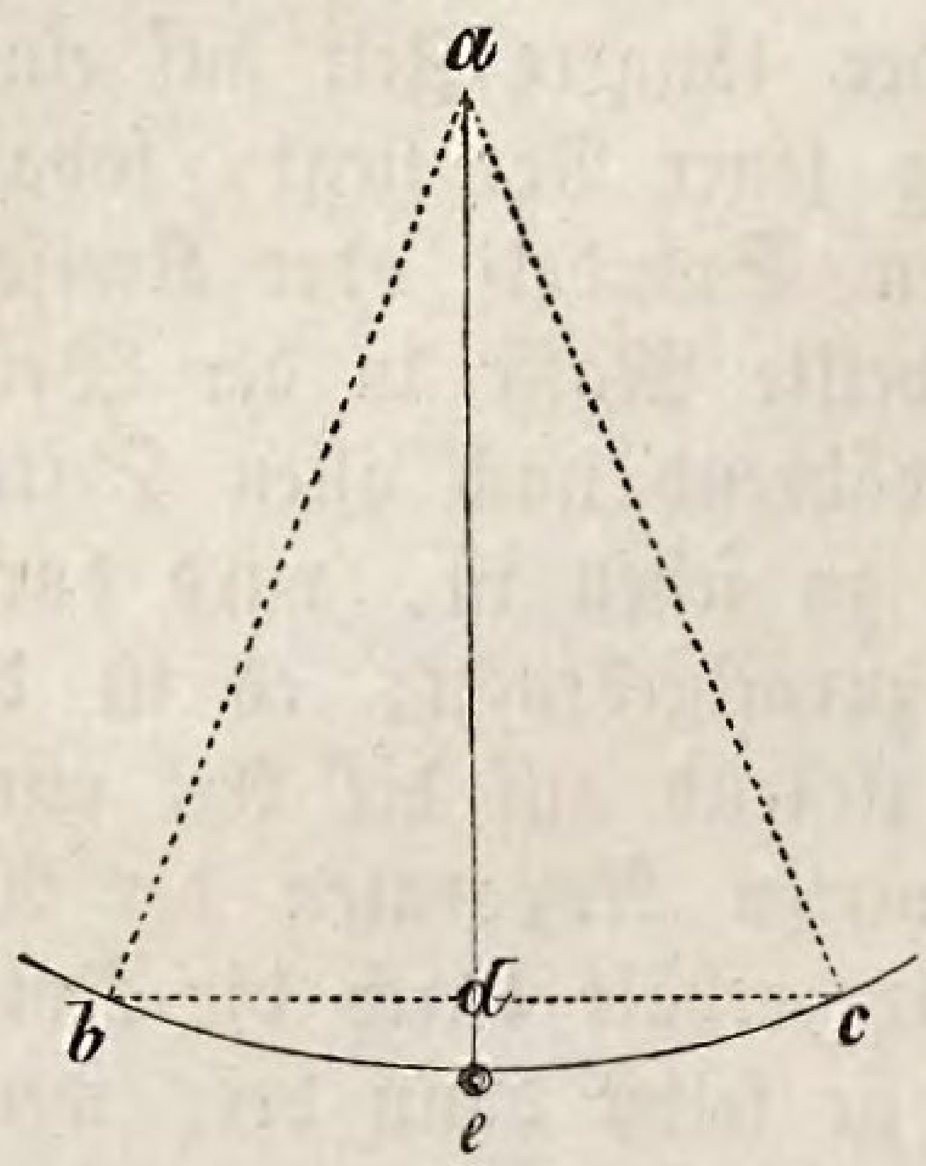
Bei Körpern, welche nur um eine horizontale Axe beweglich sind, wie z. B. beim Schwungrad, ist die Lage des Schwerpunkts von besonderer Wichtigkeit. Liegt derselbe genau in der Rotationsaxe, so findet bei jeder Stellung, die man dem Rade geben kann, Gleichgewicht statt; liegt er jedoch außer der Axe, so giebt es nur zwei Lagen, in welchen das Gleichgewicht da ist, nämlich dann wenn der Schwerpunkt gerade unter der Axe, und dann wenn er gerade über ihr sich befindet. Im ersten Falle ist das Gleichgewicht stabil, im andern labil. Ein Rad, dessen Schwerpunkt unveränderlich in der Axe liegt, bedarf nur Unterstützung von unten und seine Zapfen können in offenen Pfannen liegen, während andern Falls die Zapfen auch nach oben verwahrt werden müssen, und zwar um so fester, je größer der Kreis ist, den der Schwerpunkt um die Axe beschreibt.

Die Pendelschwingungen.

Ein Pendel besteht der Hauptsache nach aus einem schweren Körper, der an einem Draht, einer beweglichen Stange u. dgl. aufgehangen und dadurch fähig ist, hin und her zu schwingen. Eine Bleikugel, an einem etwas langen Faden hängend, giebt ein einfaches Vorbild eines Pendels. So lange sie ruht, nimmt die Kugel, in Folge des Strebens des Schwerpunktes nach der tiefsten Lage, die unterste Stelle ein und der gespannte Faden bildet eine senkrechte Linie; wir haben da ein einfaches Bleiloth. Schieben wir indeß die Kugel nur ein wenig zur Seite, so führt sie eine Anzahl immer kleiner werdender Schwingungen aus. Zieht man z. B. die Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage

a d nach a b, so wird sie, durch die Schwere getrieben, sich zunächst nach d zurückbegeben. Es ist diese Bewegung ein reines Fallen und es gelten darum beim Pendel dieselben Fallgesetze, die wir schon kennen lernten. Die Kugel wird demnach ihren Weg von b nach d mit stetig beschleunigter Geschwindigkeit zurücklegen; in d angekommen wird sie genau dieselbe Geschwindigkeit erlangt haben als wenn sie frei und senkrecht von e nach d gefallen wäre. Diese ihr inwohnende Geschwindigkeit nun läßt sie in d nicht ruhen, sondern treibt sie nach dem Gesetz der Trägheit in dem Zirkel, dessen Mittelpunkt der Aufhängepunkt des Fadens bildet, weiter nach c hin. Indeß legt sie diese zweite Hälfte ihres Weges unter veränderten Umständen zurück, denn die Schwere, welche beim Absteigen beschleunigend wirkte, wirkt hindernd auf das Ansteigen, und die Geschwindigkeit der Kugel in der zweiten Hälfte des Schwingungsbogens ist daher eine stetig verzögerte. Bei c angekommen ist die Geschwindigkeit der Kugel Null, die Schwere macht sich allein geltend und es erfolgt nun eine zweite, rückläufige Schwingung, bei welcher ganz dieselben Vorgänge, nur in umgekehrter Reihefolge stattfinden wie bei der ersten. So erfolgen eine ziemliche Anzahl Schwingungen, und sie würden ohne Aufhören erfolgen, wenn nicht die Hindernisse der Bewegung, nämlich die Reibung an der Luft und die Steifigkeit des Drahtes oder Fadens, fortwährend thätig wären. Durch ihren Einfluß werden die Schwingungsbogen allmälig kleiner, bis der schwingende Körper endlich ganz in die Ruhelage zurückkehrt.

Fig. 18.



Hätten wir das in der Zeichnung versinnlichte Pendel etwa nur halb so hoch gehoben oder wie man gewöhnlich sagt ihm nur einen halb so großen Ausschlagwinkel gegeben, so würde die beschleunigte Bewegung seines Falles auch nur etwa halb so groß haben werden können; das Pendel würde also mit der halben Geschwindigkeit auch nur halb so große Schwingungen machen als im ersten Falle; daher würde die Zeit, welche auf die größere und die kleinere Schwingung verwendet wurde, ganz dieselbe bleiben, nicht blos in den beiden, sondern auch in allen zwischenliegenden Fällen. Diese gleiche Dauer nicht gar zu großer Pendelschwingungen wurde zuerst von Galilei beobachtet und auf Grund dessen führte Huyghens das Pendel als Regulator an Uhren ein, wodurch man die ersten genaueren Zeitmesser erhielt. Allerdings ist der Satz nicht ganz richtig, denn die beschleunigende Kraft des Falles entspricht eigentlich nicht dem Schwingungsbogen, sondern der Sehne desselben, der horizontalen Linie b c; doch ist die Differenz so gering, daß man im Allgemeinen annehmen kann, alle Pendelschwingungen erfolgen bei gleicher Länge des Pendels in denselben Zeiten. Daß weder Stoff noch Gewicht des Pendels von Einfluß auf dessen Schwingungen sind, läßt sich am leichtesten durch Beobachtung verschiedener gleichlanger Pendel aus Metall, Holz, Wachs u. dgl. ersehen.

Dagegen ist die Länge des Pendels von wichtigem Einfluß. Schon die tägliche Erfahrung giebt den Satz an die Hand: je kürzer ein Pendel ist, desto schneller schwingt es, je länger, desto langsamer. Je länger man die Pendelstange macht, desto länger werden, bei gleichem Ausschlagwinkel, die von dem Körper des Pendels zu durchlaufenden Räume. Aus den Fallgesetzen wissen wir, daß die Räume, die ein fallender Körper in verschiedenen Zeiten durchläuft, sich nicht wie die Zeiten selbst, sondern, wegen der beschleunigten Bewegung, wie die Quadrate dieser Zeiten verhalten. Daher entspricht auch die Länge des Pendels den Quadraten der Schwingungszeiten. Die Umkehr dieses Satzes führt zu dem Gesetz, daß sich die Schwingungszeiten der Pendel verhalten wie die Quadrate ihrer Längen. Soll demnach die Zahl der Pendelschwingungen in einer gegebenen Zeit 2, 3, 4, 5 u. s. w. mal größer oder kleiner sein, so ist ein 4, 9, 16, 25mal kürzeres oder längeres Pendel erforderlich. Während z. B. ein Pendel von 4 Fuß Länge eine Schwingung macht, vollendet ein einfüßiges deren zwei.

Die Pendelgesetze haben nur dann ihre ganze Geltung, wenn man sich die Pendelstange als eine bloße Linie ohne Gewicht vorstellt, an welcher ein bloßer, jedoch mit Schwere begabter Punkt hängt. Ein solches ideelles Pendel heißt ein einfaches oder mathematisches; alle wirklich existirenden Pendel dagegen sind zusammengesetzte oder physische. Bei einem physischen Pendel bewirkt die Körperhaftigkeit der Stange, daß dasselbe etwas rascher schwingt als das ihm entsprechende mathematische, denn es stecken in der Stange gleichsam eine Reihe kürzerer Pendel, die das Bestreben haben rascher zu schwingen, und zwar um so mehr, je näher sie dem Aufhängepunkte liegen. Ihre Gesammtwirkung äußert sich in einer merklichen Beschleunigung des Pendelganges, und das Pendel muß daher zur Ausgleichung derselben etwas länger gemacht werden, als es die Theorie verlangt. Durch Rechnung ist es übrigens möglich zu bestimmen, wie viel jeder Punkt nach seinem Abstande zur Bewegung des Pendels beiträgt, und so den Punkt zu finden, in welchem die Wirkung aller dieser Schwingungen vereint gedacht werden kann. Der Abstand dieses sogenannten Schwingungspunktes vom Aufhängepunkte entspricht dann genau der wahren Länge des einfachen mathematischen Pendels.

Da Veränderungen in der Temperatur stets eine Ausdehnung oder Zusammenziehung der Körper, also auch der Pendelstange bewirken, so muß das Pendel in der Wärme langsamer als in der Kälte schwingen. Diesem Uebelstande abzuhelfen hat man viele Versuche gemacht, die endlich zu den sogenannten Compensationspendeln führten, unter denen das Rostpendel das bekannteste ist. Sie gründen sich auf die ungleiche Ausdehnung verschiedener Metalle. Weiß man z. B. daß die Ausdehnung und Zusammenziehung beim Zink etwa doppelt so groß ist als beim Stahl, so hat man die Möglichkeit, aus einer Anzahl Zink- und Stahlstäbchen ein System herzustellen, in welchem sich der Stahl nach unten, das Zink dagegen nach oben ausdehnt und die Linse des Pendels um so viel wieder hebt als sie durch die Ausdehnung des Stahles gesunken ist. Es wird mithin durch diese Anordnung der Schwingungspunkt

stets in gleichem Abstande vom Aufhängepunkte erhalten. In einem andern Compensationspendel wird die Ausgleichung durch Quecksilber bewirkt. Der cylinderförmige Körper des Pendels ist mit diesem Metall gefüllt; bei erhöhter Temperatur steigt die Quecksilbersäule und der Mittelpunkt der Schwingung wird dadurch um eben so viel erhöht als er sich durch die Ausdehnung der Stange senkt.

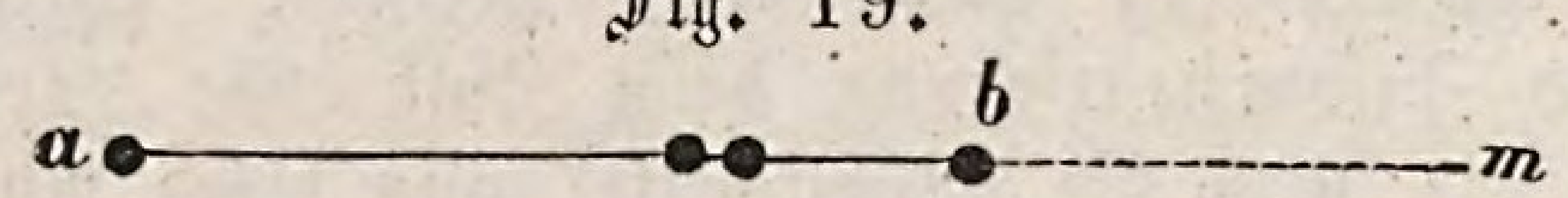
Verlängert man die Stange eines Pendels über den Aufhängepunkt hinaus, so kann dies auf den Gang desselben nicht ohne Einfluß bleiben, denn die Linse kann nicht herabfallen, ohne daß gleichzeitig das überragende Stück gehoben wird. Die natürliche Folge ist eine geringere Geschwindigkeit des Pendelganges, der um so langsamer wird, je weiter man die Stange überragen läßt. Hierauf beruht die Einrichtung des musikalischen Taktmessers oder Metronoms, welcher nichts anderes ist als ein Pendel mit veränderlichem Aufhängepunkt.

Für die physikalischen Wissenschaften ist das Pendel in mehrfacher Hinsicht von ungemeiner Wichtigkeit geworden; doch auch dem Mechaniker ist es, wenigstens in Bezug auf die Herstellung von Uhren, unentbehrlich.

Bewegung der Körper durch Anstoß.

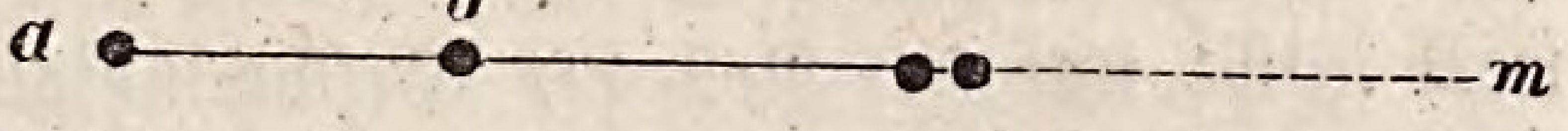
Wenn ein in Bewegung befindlicher Körper auf einen andern trifft, welcher entweder in Ruhe ist oder nicht dieselbe Bewegung hat wie der erstere, so erfolgt ein Stoß, und die Bewegungszustände beider Körper werden durch diese Begegnung plötzlich andere. Die durch den Stoß hervorgerufenen Erscheinungen sind sehr verschieden je nach den den Körpern inwohnenden Kraftmomenten, ihrer Richtung, Gestalt, Elasticität &c. Zwei unelastische Körper mit gleichen Momenten müssen beim Zusammentreffen ihre Bewegungen gegenseitig aufheben und plötzlich stillstehen. Da man indeß keinen vollkommen unelastischen Körper kennt, so wird sich dieser Satz, so einleuchtend er ist, durch Versuch nicht völlig rein darthun lassen. Haben die Körper im Augenblick ihres Zusammentreffens ungleiche Momente, so wird bei dem Körper, welcher die kleinere Bewegung hatte, diese nicht allein aufgehoben, sondern er muß sich nach dem Stoße in entgegengesetzter Richtung bewegen; beide Körper können dann als ein einziger betrachtet werden, dessen Geschwindigkeit gleich der Differenz der ursprünglichen Geschwindigkeiten ist. Bewegen sich z. B. zwei gleiche Körper, a und b, ersterer mit der Geschwindigkeit von 6, letzterer von 4 gegeneinander, so wird b seine ganze Geschwindigkeit verlieren, a dagegen nur einen Verlust an 4 erleiden, und der Rest der Geschwindigkeit, 2, wird zwischen a und b so vertheilt, daß beide sich mit der Geschwindigkeit 1 nach m hin bewegen. Bewegen sich die gleichen Körper a und b in einer und derselben Richtung, jedoch a z. B. mit der Geschwindigkeit von 6, b von 4, so wird

Fig. 19.



der Körper a den andern einholen und ihm durch den Anstoß so viel Geschwindigkeit mittheilen, daß die Geschwindigkeiten beider gleich werden. Beide Körper werden sich alsdann mit der Geschwindigkeit von 5 weiter bewegen, indem die Geschwindigkeit von a um 1 vermindert, die von b um 1 vermehrt ist. Die Summe der Bewegungen erleidet somit bei Körpern, die einerlei Richtung verfolgen, durch den Anstoß keinen Abbruch; sie war in unserm Beispiel ohne Stoß 6 + 4 = 10, und blieb auch nach dem Stoß 5 + 5 = 10.

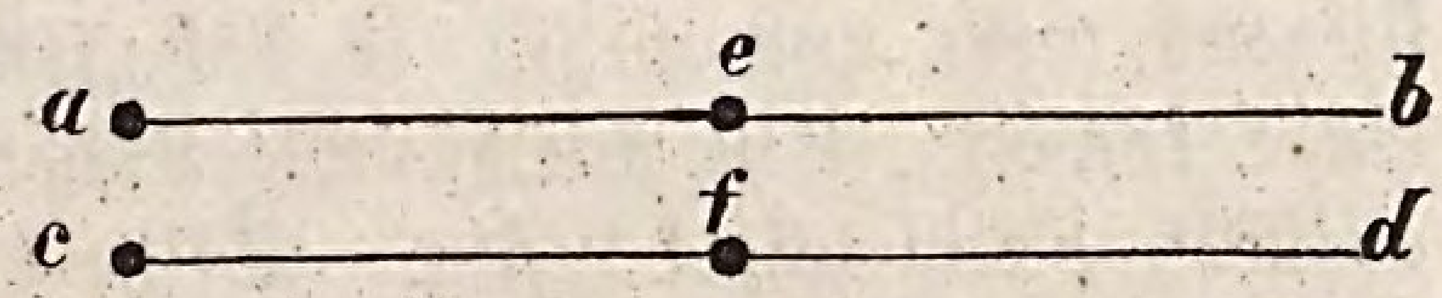
Fig. 20.



Die Geschwindigkeiten zweier von gleichen Kräften bewegter, aber an Masse ungleicher Körper verhalten sich umgekehrt wie die Massen: je größer der Körper, desto langsamer ist die Bewegung bei gleicher Kraft. Demnach werden an Masse ungleiche Körper, welche durch gleiche Kräfte in Bewegung gesetzt werden, jedem Körper, auf den sie treffen, die gleiche Kraft mittheilen, obschon ihre Geschwindigkeiten ungleich sind.

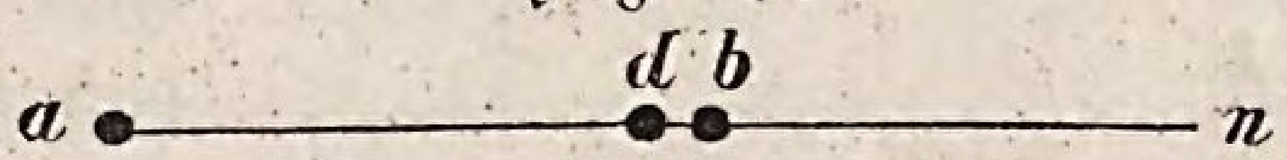
Nimmt man z. B. an, der Körper a, eine Unze schwer, werde nach der Richtung a b fortgetrieben, und ein anderer, 4 Unzen wiegender Körper werde mit gleicher Kraft von c nach d getrieben, so wird ihre Geschwindigkeit offenbar verschieden sein, und zwar die Geschwindigkeit von c um so viel kleiner, als er schwerer ist, also viermal. Gleichwohl wird die Geschwindigkeit, welche c einem Körper e ertheilt, genau dieselbe sein, welche ein gleicher Körper e von a empfängt, weil die geringere Geschwindigkeit von c durch seine größere Masse aufgewogen wird.

Fig. 21.



Bei dem bisher Gesagten hat man sich die zusammenstoßenden Körper völlig unelastisch zu denken. Bei solchen ist der Stoß zu Ende, wenn beide Körper entweder zum Stillstande gelangt sind oder eine gleichförmige Bewegung angenommen haben. Sie haben dabei an dem Punkte des Zusammenstoßes eine bleibende Zusammendrückung ihrer Masse erfahren. Die meisten Körper sind aber so beschaffen, daß sie einer bleibenden Formveränderung widerstreben, und mehr oder weniger vollständig ihre frühere Form nach dem Stoße wieder annehmen, d. h. sie sind elastisch. Bei solchen Körpern tritt zu den Wirkungen des Stoßes gleichsam noch ein zweiter Theil hinzu: indem sie ihre frühere Form wieder anzunehmen streben, also die eingedrückten Theile wieder nach außen schnellen, entsteht ein Zurückprallen der beiden Körper und alle Erscheinungen des ersten Theiles treten im zweiten noch einmal in umgekehrter Ordnung auf; es werden dieselben Quantitäten von Bewegung nochmals entrissen und mitgetheilt. Haben beide Körper gleiche Massen, so tauschen sich hierbei ihre beiderseitigen Geschwindigkeiten vollständig aus. Wenn die beiden gleichen Körper a und b sich gegeneinander bewegen, und zwar a mit der Geschwindigkeit 5 und b mit der Geschwindigkeit 3,

Fig. 22.



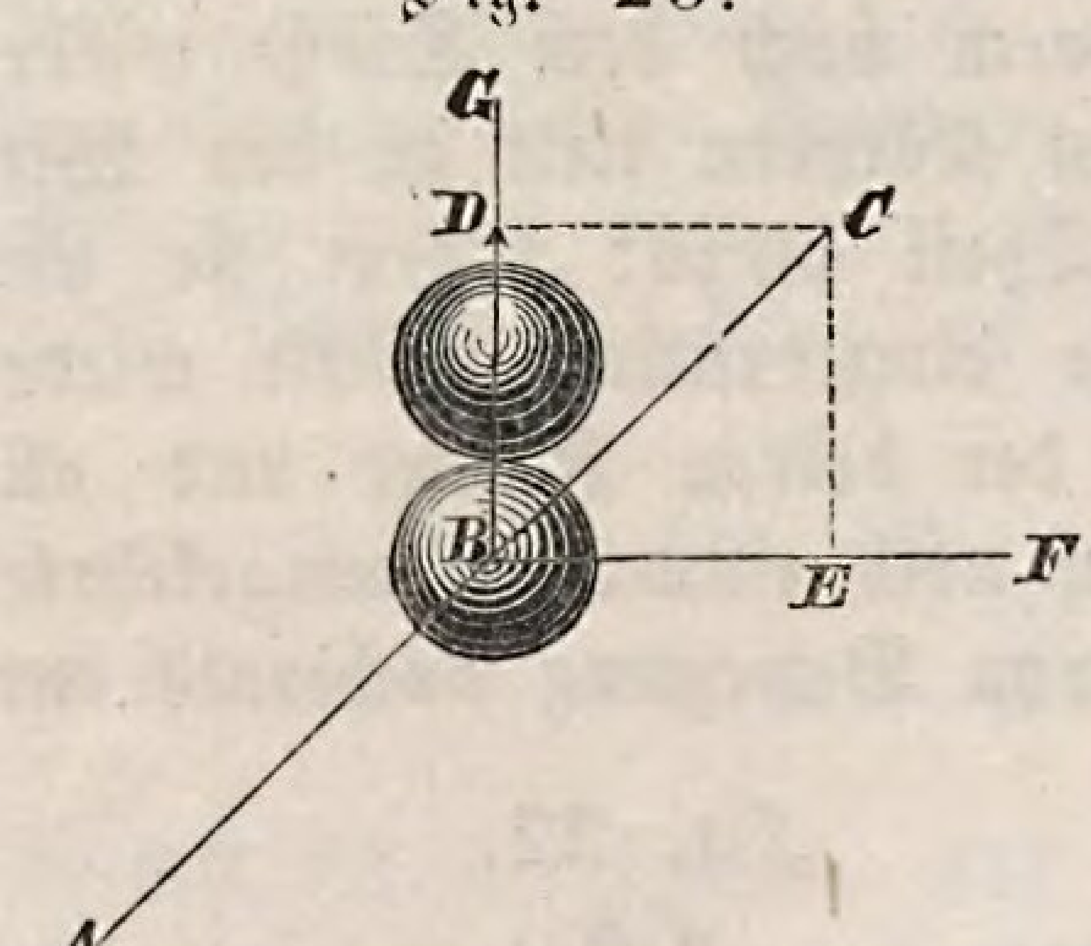
so wird nach dem Zusammenstoße a mit der Geschwindigkeit 3 und b mit der Geschwindigkeit 5 zurückprallen. Während des Stoßes verlor a an seiner Geschwindigkeit in der Richtung von a nach b 3, da ihm b seine Geschwindigkeit = 3 entgegensetzt, aber dadurch, daß b als elastischer Körper wirkt, erhält a seine ganze Wirkung 5 in der Richtung von d nach a zurück, und hierdurch wird nicht nur der Rest der Geschwindigkeit von 2 aufgehoben, den a nach der ursprünglichen Richtung hin noch hatte, sondern es bleibt noch eine Kraft von 3, die ihn nach seinem Ausgangspunkte zurücktreibt. Gleichzeitig erhält der Körper b die Geschwindigkeit 5 auf den Rückweg, nämlich 2 durch Ueberwiegen der Geschwindigkeit von a und 3 als Rückprall oder Umkehr seiner eigenen Geschwindigkeit.

Steht einer der beiden Körper vor dem Stoße still, so wird er, nachdem er den Stoß des andern erhalten, mit der Geschwindigkeit des stoßenden Körpers fortgehen, während letzterer still stehen wird. Ist der zweite Köper unbeweglich, so wird die ganze Geschwindigkeit des stoßenden darauf verwendet, beide Körper zusammenzudrücken; die dann folgende Ausdehnung beider wirft dann den beweglichen mit derselben Geschwindigkeit zurück mit welcher er ankam.

Wenn ein fester elastischer Körper senkrecht auf eine feste Ebene fällt, so muß er nach dem Vorhergehenden von derselben eben so hoch emporschnellen, als er gefallen war. Die nicht ganz vollständige Elasticität der Körper, so wie der Widerstand der Luft mindern in der Wirklichkeit allerdings die Höhe des Auffliegens mehr und mehr, so daß selbst der sehr elastische Gummiball bald zur Ruhe kommt. Ein unelastischer Körper dagegen, der auf eine unelastische Fläche auffällt, bleibt sofort liegen. Seine durch den Fall erlangte Kraft ist vernichtet, da sie auf die bleibende Zusammendrückung beider Körper verwendet wurde.

Bisher wurde angenommen, daß die Richtungen, in welchen die stoßenden Körper auf einander treffen, in der Linie liegen, in welcher ihre Schwerpunkte sich bewegen, und daß die Berührungsflächen zu dieser Linie senkrecht seien; ein solcher Stoß heißt ein gerader oder centraler, und man kann sich bei ihm die ganze Wirkung in dem getroffenen Punkte vereint denken. Schief oder excentrisch ist dagegen der Stoß, wenn jene Bedingungen nicht erfüllt sind. Auf dem Billard geschieht es häufig, daß eine Kugel nicht voll genommen, sondern von der Seite angespielt wird. Es sei B die Kugel des Spielers und A C die ihr ertheilte Richtung. Im Moment des Anstoßes an die zweite Kugel zerfällt die Geschwindigkeit der ersten in die beiden Geschwindigkeiten oder Kräfte B D und B E, deren erstere durch die Mittelpunkte der beiden Kugeln, die andere senkrecht zu dieser gerichtet ist. Der Stoß erfolgt durch die Kraft B D, als wenn sie allein vorhanden wäre; das Resultat eines solchen Stoßes wird unter der Voraussetzung, daß beide Kugeln gleich sind, das sein, daß die ganze Kraft desselben sich auf die zweite Kugel überträgt. Nach dem Stoße hat folglich die erste Kugel nur noch die Kraft B E, und wird sich

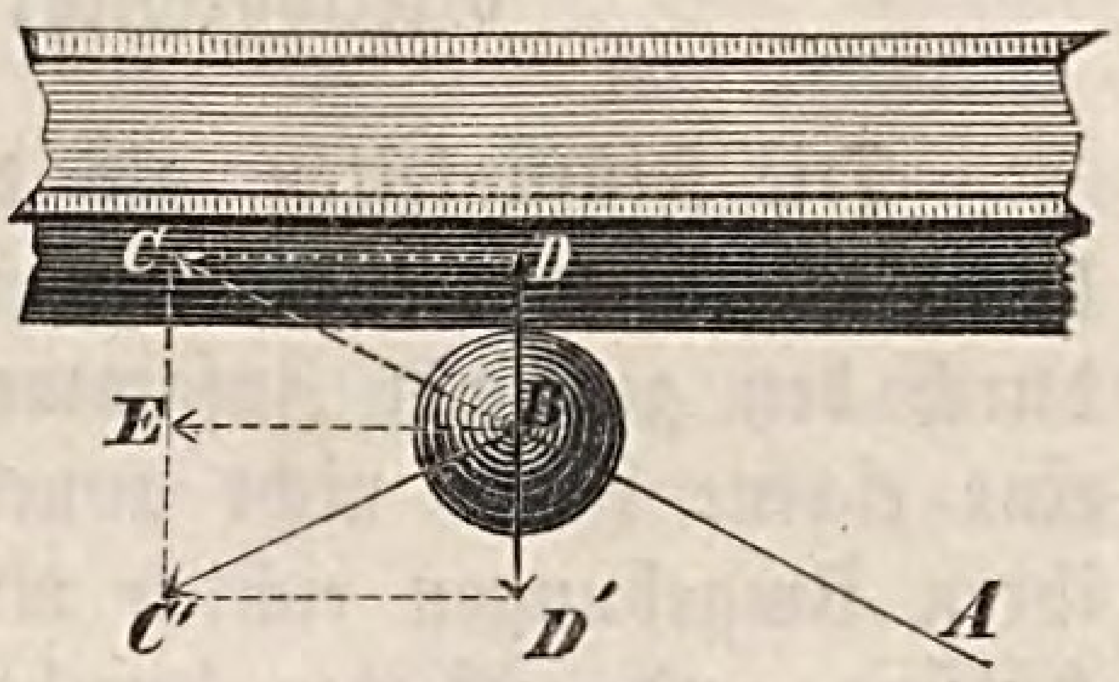
Fig. 23.



daher in der Richtung B F fortbewegen, während die zweite, mit der Kraft B D begabt, die Richtung B G einschlagen wird. Wie man also sieht, hängt es von der Lage des Punktes ab, in welchem die zweite Kugel getroffen wird, welche Richtungen beide nach dem Stoße einschlagen werden.

Ein anderer Fall des schiefen Stoßes ist es, wenn die Kugel sich auf der Linie A B bewegt und hier auf die Bande trifft. Hier wird man wieder die Kraft B C in zwei Seitenkräfte zu zerlegen haben, deren eine, B D, senkrecht zur Bande, die andere parallel mit ihr gerichtet ist. Der Stoß wird so stattfinden, als wäre die Seitenkraft B D allein da. Die unbewegliche Bande kann dem Stoße nicht weichen; sie ist aber elastisch und es wird die Kraft B D im ersten Theile des Stoßes zu ihrer Zusammendrückung aufgewendet werden; im zweiten Theile erhält die Kugel von der Bande die ganze Kraft B D in umgekehrter Richtung als B D′ zurück. Um nun zu finden, welche Richtung jetzt die Kugel nehmen werde, nimmt man die Kraft B C, welche keine Veränderung erfahren hat, und die Kraft B D′ als Seitenkräfte, und erhält daraus mittelst des Parallelogramms die Resultante B C′ als den Weg, den die Kugel nach dem Anstoße einschlägt.

Fig. 24.



Ist der Winkel, unter welchem eine Kugel auf eine andere oder auf die Bande trifft, irgend ein anderer, so wird sich zwar für jeden Fall die Form des Parallelogramms, nicht aber die Sache selbst ändern, und es wird sich durchgängig ergeben, daß die Kugeln jedesmal genau unter demselben Winkel abspringen, unter welchem der Stoß erfolgte. Dies wird durch den Satz ausgedrückt: der Einfallwinkel ist dem Zurückwerfungswinkel gleich.

Je nach der Geschwindigkeit, in welcher der Stoß erfolgt, können die Wirkungen desselben sehr verschieden sein. Die Mittheilung der Bewegung erfordert Zeit, der Stoß kann sich nur successive von den getroffenen Theilchen aus auf die übrigen fortpflanzen. Ist der Stoß schwach, also die mitgetheilte Bewegung mäßig, so wird in der Regel die bei jedem Stoß erfolgende Formveränderung die Grenzen der Elasticität nicht überschreiten und die stoßenden und gestoßenen Körper werden alsbald ihre ursprüngliche Form wieder annehmen können. Ist dagegen der Stoß heftig, so kann eine dauernde Formveränderung und selbst eine völlige Trennung der getroffenen Theile von den übrigen die Folge sein, da letztere der schnellen Bewegung der ersteren nicht momentan zu folgen vermögen. Mancherlei Erscheinungen beruhen hierauf. Eine Zimmerthür kann durch einen sanften Druck zugemacht werden, während eine darauf abgeschossene Flintenkugel ihr kaum eine Bewegung ertheilen wird; ebenso macht ein Flintenschuß in eine Fensterscheibe ein rundes glattrandiges Loch, indem die Kugel nur die Theile mitnimmt, die ihr selbst entgegenstehen, während dieselbe Kugel, mit der Hand geworfen, die Scheibe zerschmettern wird. Ein Faden, an welchem man einen Körper rasch aufheben will, kann reißen, während er ganz bleibt, wenn man durch langsames Ziehen den Körper nur allmälig in Bewegung setzt.

Auch die Größe der Masse, welche den Stoß empfängt, ist auf die Wirkungen desselben von Einfluß, denn eine kleinere Masse muß dem Stoße williger nachgeben als eine größere. Daher ist es z. B. schwer, einen Nagel in ein nicht unterstütztes dünnes Bret einzuschlagen, da dieses dem Stoße zu leicht nachgiebt; hält man aber auf der andern Seite ein Stück Holz oder sonst eine größere Masse gegen das Bret, so geht der Nagel willig hinein. Es kommt dabei nicht sowohl auf einen Gegendruck an, sondern mehr darauf, daß eine Masse da sei, in welche sich der Stoß mit vertheilen kann, so daß dadurch die zu große Nachgiebigkeit des Bretes vermindert wird.

Gleichgewicht und Bewegung der Flüssigkeiten.

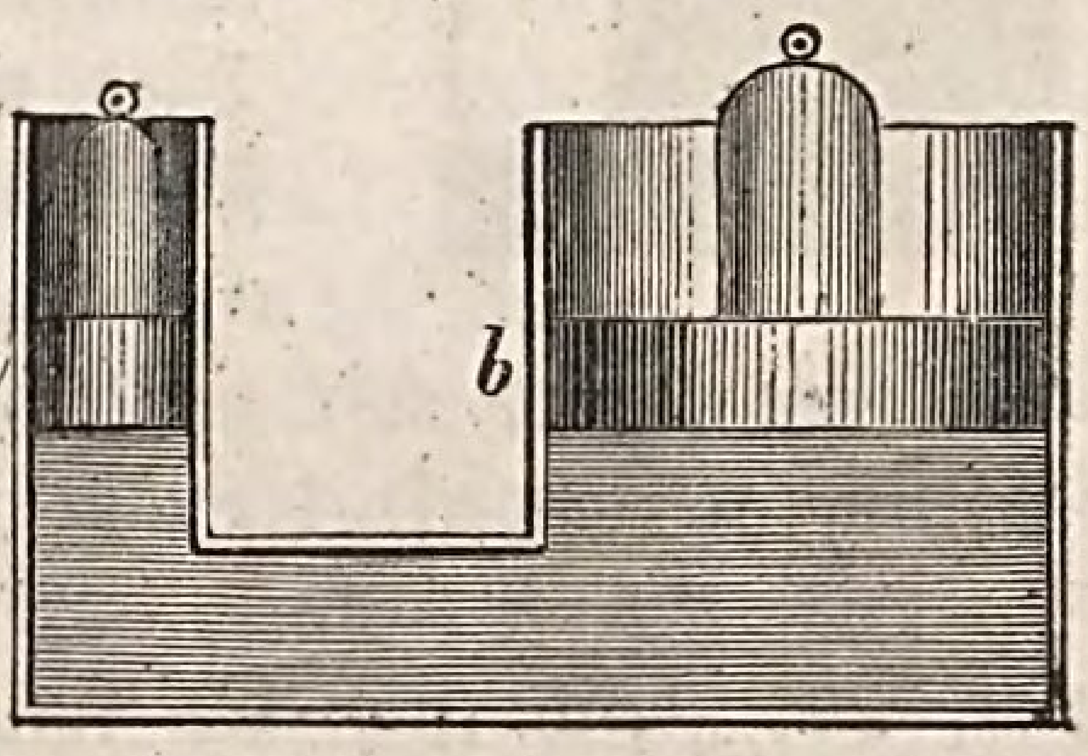
Die Flüssigkeiten, als deren Repräsentanten wir in der Mechanik mit Fug das Wasser setzen können, unterscheiden sich von den festen Körpern wesentlich durch den geringen Zusammenhang ihrer kleinsten Theilchen, in Folge dessen sie eine eigene Form nicht annehmen können, sondern sich in dieser Hinsicht nach ihren Umgebungen richten müssen. Dieser besondere Zustand heißt der tropfbar flüssige, und auf ihm beruht eben das eigenthümliche physikalische Verhalten der Flüssigkeiten. Die Schwere wirkt nämlich auf die Flüssigkeiten ganz so wie auf feste Körper; ein fester Körper, z. B. eine eiserne Säule, wird mit dem vollen Gewicht auf seine Unterlage drücken und ganz so wird sich auch eine Wassersäule verhalten; aber während an dem festen Körper ein seitlicher Druck nicht wahrzunehmen ist, werden die die Wassersäule einschließenden Wände einen solchen auszuhalten haben, und zwar zunehmend von oben nach unten. Die Wassersäule würde sich ohne einschließende Wände noch weit weniger aufrecht halten können als eine Säule aus glatten Kugeln, da ihre einzelnen Theilchen noch viel beweglicher über einander liegen, daher um so leichter einem Drucke nach allen Seiten hin ausweichen werden. Da nun jedes derselben die Last aller über ihm liegenden zu tragen hat, so muß das Bestreben seitlich auszuweichen, also der Druck auf die Gefäßwandungen von oben nach unten zunehmend stärker werden.

Denken wir uns, von der Eigenschwere des Wassers vor der Hand ganz abgesehen, eine mit Wasser gefüllte Röhre an beiden Enden mit beweglichen Kolben verschlossen. Wird auf den einen derselben ein Druck angebracht, so muß er auf das eingeschlossene Wasser und dieses seinerseits wieder auf den jenseitigen Kolben drücken, und dieser wird, vorausgesetzt daß der Durchmesser der Röhre überall derselbe ist, mit derselben Kraft und Geschwindigkeit vorrücken als der erste. Es kommt hierbei nicht darauf an, ob die Röhre gerade oder in beliebigen Richtungen gewunden ist; es braucht überhaupt gar keine Röhre zu sein; das Gefäß kann jede andere Form haben. Nehmen wir nun etwa eine mit Wasser gefüllte Hohlkugel, in deren Wandungen wir die zwei Kolben von gleichem Querschnitt uns angebracht denken, so wird die Erscheinung dieselbe sein, und zwar nicht blos in dem Falle, wenn beide Kolben einander gegenüberliegen, sondern auch in jedem andern, also auch dann, wenn sie hart neben einanderliegen. Aus diesem Experiment folgt der nothwendige Schluß, daß die

Flüssigkeiten einen auf ihre Oberfläche angebrachten Druck nach allen Seiten hin fortpflanzen. Die Fortpflanzung ist aber auch überall hin eine gleichmäßige; denn man darf in die Wandungen der Kugel eine ganz beliebige Anzahl gleich großer Löcher mit beweglichen Platten oder Kolben machen, und es wird bei jedem einzelnen dieselbe Erscheinung auftreten. Hätten wir also z. B. vier Kolben und ließen auf einen derselben eine Kraft von 10 Pfunden wirken, so wird jeder der drei andern mit einer Kraft von 10 Pfund herausdringen und es würden also 30 Pfund nöthig sein, um der ursprünglichen Kraft von 10 Pfund das Gleichgewicht zu halten. Da es mithin auf die Zahl der Löcher gar nicht ankommt, so folgt daraus offenbar, daß auch jeder andere undurchbrochene Theil der Kugelwand ganz den gleichen Druck auszuhalten hat, nämlich 10 Pfund auf jede Fläche, die gleiche Größe mit der Fläche des drückenden Kolbens hat. Drücken vier Kolben, die sich das Gleichgewicht halten, nach innen, so wird dadurch der Druck auf die Wandungen auch der vierfache sein.

Nachdem wir gesehen, daß Flüssigkeiten einen ihnen ertheilten Druck nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen und daß die in den vorigen Beispielen angenommenen Kolben nur als beliebig mobil gemachte Wandstücke des einschließenden Gefäßes anzusehen sind, läßt sich leicht erkennen, welches die Wirkungen sein werden, wenn der drückende und der gedrückte Stempel ungleiche Querschnitte haben. Es habe der Kolben a in nebenstehender Figur einen 10 mal kleinern Querschnitt als b und es drücke auf a ein Gewicht von 10 Pfund, so wird sich der Druck von a nach b in der Weise fortpflanzen, daß gegen jedes Flächenstück von b, welches eben so groß ist als der Querschnitt von a, ein aufwärts gehender Druck von 10 Pfund wirkt, und man wird also, um diesen Druck auszugleichen, auf b einen Druck von 100 Pfund anbringen müssen. Bei dieser Belastung von resp. 10 und 100 Pfund wird also das Gleichgewicht zwischen beiden Kolben hergestellt sein und man kann sich daher die Richtung des Drucks auch umgekehrt vorstellen und sagen, die 100 Pfund in b werden durch 10 Pfund in a ausgeglichen.

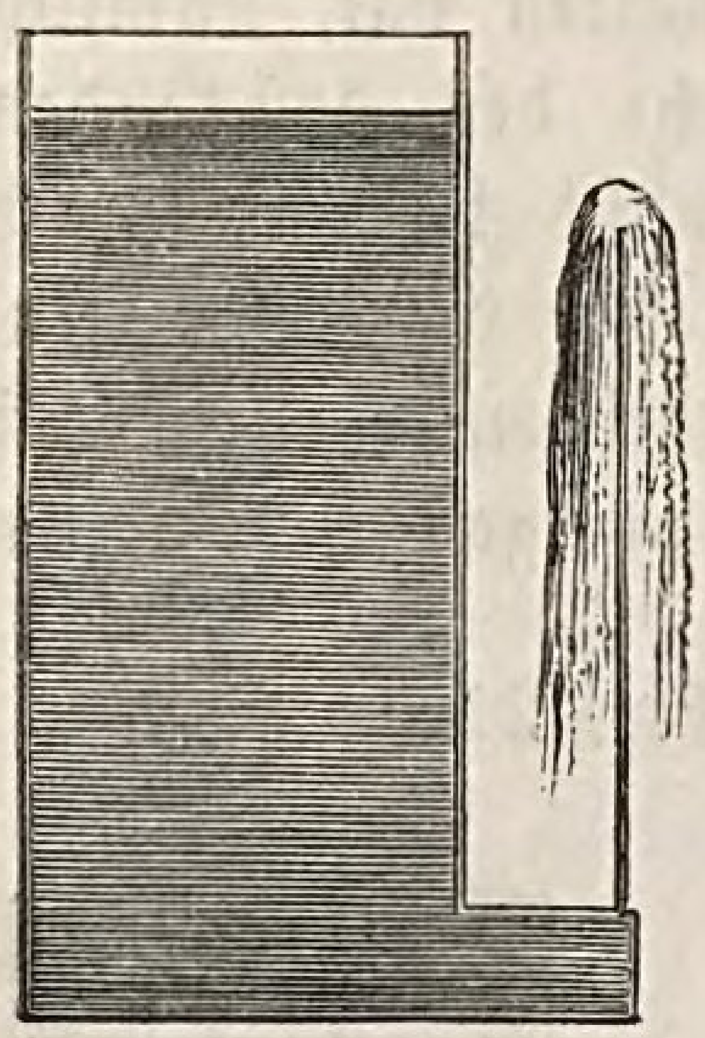
Fig. 25.



Zwei oder mehrere Gefäße, welche unter sich so verbunden sind, daß die Flüssigkeiten aus dem einen in das andere gelangen können, heißen communicirende; hiervon giebt schon Fig. 25 ein Beispiel. In solchen Gefäßen verhalten sich die Flüssigkeiten ganz wie in einem einfachen Gefäß; sie kommen erst dann in Ruhe und Gleichgewicht, wenn ihre Gesammtoberfläche in einer horizontalen Ebene liegt. Es kommt dabei durchaus nicht darauf an, welche Form und Lage die einzelnen Theile der verbundenen Gefäße haben und wie verschieden sie hinsichtlich ihrer Räumlichkeit sind. In vorstehender Figur wird demnach das Wasser auch nach weggenommenen Kolben denselben horizontalen Stand behalten; denn die Schichten in den beiden Wassersäulen, obgleich so verschieden an Fläche und folglich an Eigenschwere, halteu sich aus demselben

Grunde das Gleichgewicht, als es die aufgelegten verschieden beschwerten Kolben thaten. Befinden sich verschiedene Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht in den communicirenden Gefäßen, z. B. Wasser in dem einen, Quecksilber im andern Schenkel, so fallen auch ihre Oberflächen beim Gleichgewichtsstande nicht mehr in eine und dieselbe Horizontalebene: die schwerere Flüssigkeit steht um so tiefer, je größer ihre specifische Schwere ist, und es verhalten sich mit einem Wort die Höhen der Säulen umgekehrt wie die specifischen Gewichte.

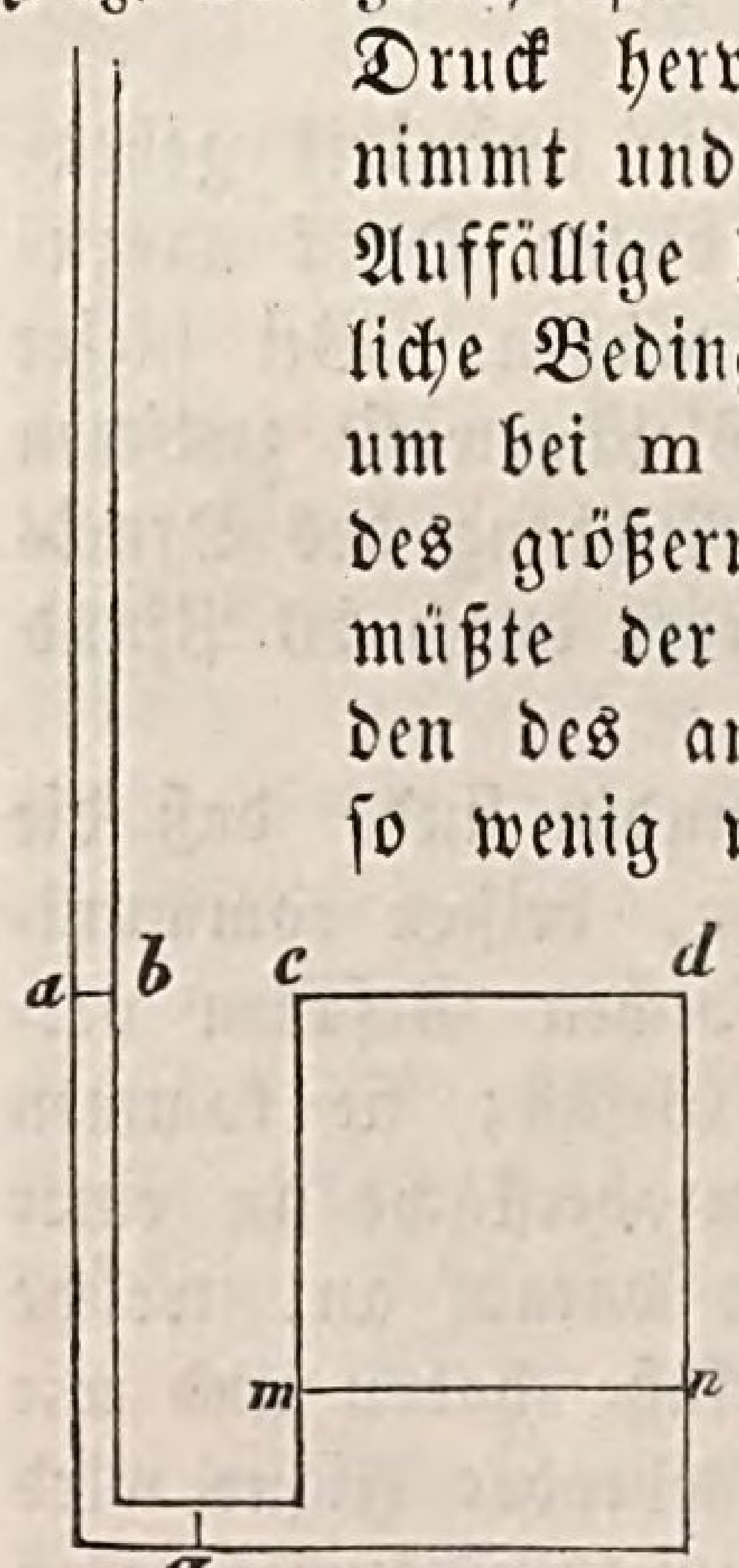
Fig. 26.



Fließt das Wasser aus einem Gefäß in ein communicirendes so lange über, bis es in beiden auf gleicher Höhe steht, so wird, wenn man das eine Gefäß sich weg und den Verbindungskanal offen gelassen denkt, das Wasser auch in freier Luft bis zu derselben Höhe zu steigen streben. Daß diese Höhe nicht ganz erreicht wird, liegt an den Widerständen, die der aufsteigende Strahl durch Reibung an den Wänden der Ausmündung und an der Luft, sowie an den zurückfallenden Wassermassen findet.

Wir sahen in dem Vorigen, wie und warum eine kleinere Wassermasse einer größern das Gleichgewicht hält. Dies wird also auch in dem durch Fig. 27 versinnlichten Falle stattfinden; die beiden Wassermassen a g und c d m n werden sich auf dem gleichen Niveau a b c d erhalten: denken wir uns nun die größere Wassermasse bis auf die Fläche m n fehlend, so bewirkt die Wassersäule a g auf diese Fläche einen nach oben gehenden Druck, welcher dem Gewichte der weggenommenen Masse c d m n gleich ist. Es kann also durch eine sehr kleine Wassermenge ein großer Druck hervorgebracht werden, wenn man das eine Gefäß sehr weit nimmt und in dem andern engern das Wasser sehr hoch steht. Alles Auffällige hierbei schwindet aber sogleich, wenn man die dabei unerläßliche Bedingung weiß. Wollte man nämlich diese Wasserkraft benutzen um bei m n eine Bewegung zu erzeugen, und wäre der Querschnitt des größern Gefäßes z. B. 100 mal größer als der des andern, so müßte der Wasserspiegel in diesem letztern 100 Fuß tief fallen, um den des andern 1 Fuß steigen zu machen. Es wird also hier eben so wenig wie bei irgend einer andern mechanischen Vorrichtung eine Kraft gewonnen, sondern nur eine vorhandene anders vertheilt, und wenn wir uns demnächst mit den Gesetzen des Hebels näher bekannt gemacht haben werden, so werden wir unschwer erkennen, daß die Erscheinungen des Wasserdrucks mit diesen Gesetzen in völliger Uebereinstimmung stehen.

Fig. 27.



Daß man, um einen gleichen Effect mit einem kurzen Rohr hervorzubringen, nur einen gutschließenden beweglichen Kolben [hineinzusetzen und auf ihn eine Kraft wirken zu lassen braucht, welche dem Drucke der weggelassenen Wassersäule entspricht, ist

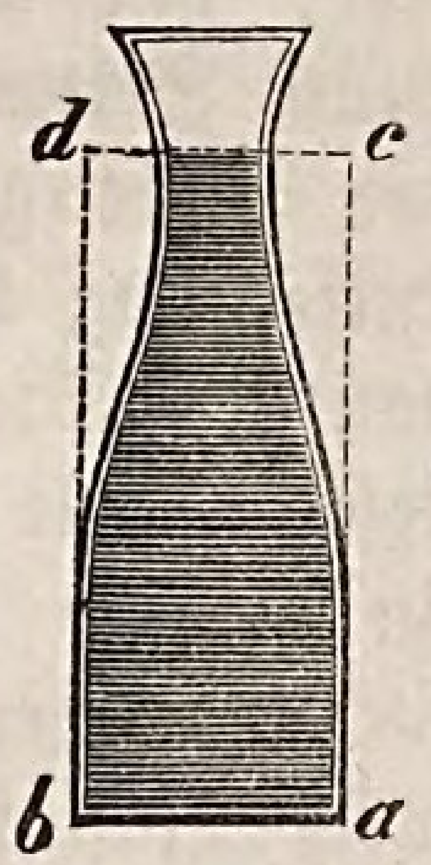
einleuchtend; es gründet sich hierauf die hydraulische Presse, die wir später kennen lernen werden.

Sehen wir weiter, wie es sich mit dem Boden- und Seitendruck verhält, den die Flüssigkeiten in ruhendem Zustande in Folge der Schwere auf die Gefäßwandungen ausüben. Daß der Druck, den der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, dessen Wände senkrecht stehen, gerade so groß sein muß wie das Gewicht des Wassers, ist wohl selbst verständlich; aber auch bei jeder andern Form des Gefäßes kommt es lediglich nur darauf an, wie groß die Fläche des Bodens und wie hoch der Abstand des Wasserspiegels über ihm ist; jeder andere Umstand, ob das Gefäß sich oben erweitere oder verenge, ob seine Wände etwa schräg auf ihrer Basis stehen, ist hierbei völlig gleichgültig.

Bei einem nach oben erweiterten Gefäß wird das eben Gesagte bald einleuchten, wenn man sich gegenwärtig hält, daß es sich hier nur um den Bodendruck, also um senkrecht wirkende Kräfte handelt, während alle andern Bestrebungen des Wassers den Seitendruck bilden. Es drückt also auf den Boden lediglich die Wassersäule, welche auf ihm selbst ruht und bis zum Wasserspiegel reicht; alle äußern Wasserpartien dagegen finden ihre Stütze auf den senkrecht unter ihnen liegenden Punkten der mehr oder weniger schräg aufsteigenden Gefäßwandungen, die man sich zur bessern Veranschaulichung so vorstellen kann, als wären sie aus sehr vielen kleinen Stufen treppenförmig zusammengesetzt.

Nicht so einleuchtend ist der aufgestellte Satz, wenn es sich um den Bodendruck in Gefäßen handelt, die oben enger werden; denn man fragt da wohl, wie z. B. in einer solchen Flasche wie die hier abgebildete der Boden einen Druck erleiden könne, als sei die Wassersäule a b c d vorhanden; hier drücke also Wasser das gar nicht da sei, oder das vorhandene Wasser müsse mit einer größern Last drücken, als es selbst wiege. Ohne uns in die Beweisführung, die durch Experimente mit Apparaten sehr leicht ist, allzuweit zu vertiefen, wollen wir nur darauf hinweisen, daß die Erklärung in dem bisher über den Wasserdruck Gesagten eigentlich schon mit enthalten ist, denn wir sahen 1) daß es beim Druck einer Wassersäule nicht auf die Menge des umgebenden Wassers, sondern lediglich auf die Höhe der Säule ankam; 2) lernten wir an Fig. 27, welchen großen Druck eine dünne Wassersäule nach oben hin ausüben kann; es war uns aber schon vorher bekannt, daß ganz derselbe Druck nicht blos auf diese eine Fläche, sondern auf a l l e Theile der Gefäßwandungen gleichmäßig ausgeübt werde.

Fig. 28.

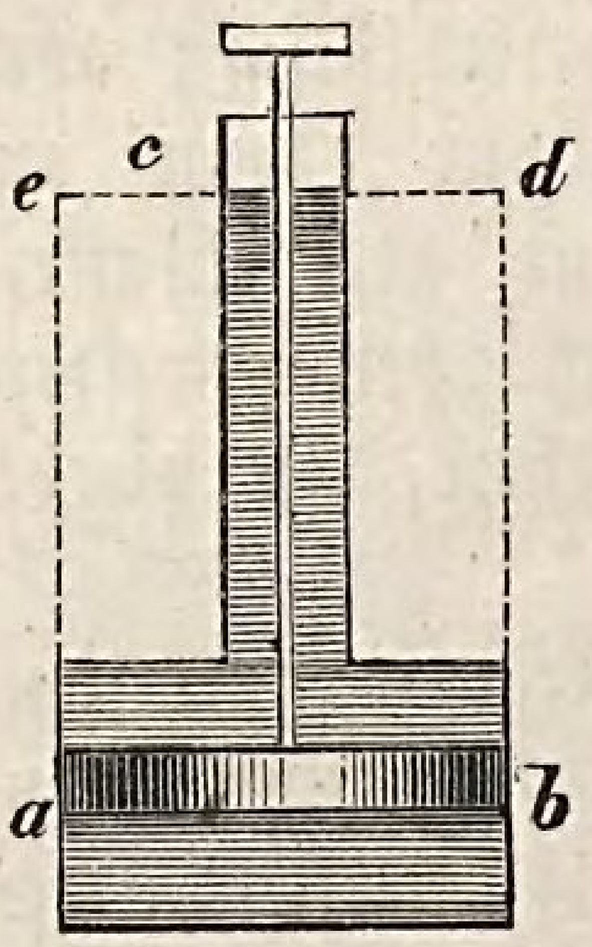


Es trägt also der Theil des Gefäßbodens, welcher unmittelbar unter der höchsten Wassersäule liegt, den der Höhe dieser Säule entsprechenden Druck; ganz den gleichen Druck werden aber, eben wegen der allseitig gleichmäßigen Fortpflanzung des Drucks, auch die übrigen Bodentheile zu erleiden haben. Auf die Schwere des mit Wasser gefüllten Gefäßes kann indeß seine Form und der Wasserdruck in seinem Innern keinen Einfluß haben; es wird stets nur mit einer Kraft niedergezogen werden, die dem Gewicht des vorhandenen Wassers

entspricht; denn die Flüssigkeit drückt ja nach allen Richtungen und folglich, wie Fig. 27 zeigt, auch nach oben, und die verschiedenen Pressungen heben sich so weit auf, daß nur die Hauptrichtung nach unten übrig bleibt.

Verhält sich die Sache wie sie bisher dargestellt wurde, so muß sie durch eine Gegenprobe zu erweisen sein, indem man den Boden eines nach oben zu engern Gefäßes hebt und bemißt, welche Kraft dazu nöthig ist. In dem hierneben abgebildeten Apparate müßte also zur Hebung des Kolbens gerade so viel Kraft nöthig sein als wenn eine Wassermasse a b c d auf ihn drückte; und so verhält es sich in der That. Doch wird in beiden Fällen der Effect immer der aufgewendeten Kraft entsprechend sein; bei ganz gleichem Kolbenhub wird in der engern Röhre das Wasser viel rascher steigen und also eine größere Höhe erreichen als wenn die Röhre überall gleich weit wäre.

Fig. 29.



Der Seitendruck, den das Wasser in Folge seiner Schwere und Flüssigkeit auf die Gefäßwände ausübt, muß mit der Höhe der Säule, also mit der Zahl der übereinander gelagerten Wasserschichten zunehmen und für alle in derselben horizontalen Fläche liegenden Punkte gleich sein. Ein cylindrisches Gefäß mit einem Boden von 1 Quadratfuß Fläche enthalte eine Wassersäule von 10 Fuß Höhe, also ein Wasservolumen von 10 Kubikfuß; den Kubikfuß zu 54 Pfund gerechnet wiegt demnach der Wasserinhalt 540 Pfund, und dieses Gewicht hat der Boden zu tragen. Genau so groß wird aber auch der Seitendruck unmittelbar über dem Boden sein, nämlich 540 Pfund auf den Quadratfuß Fläche. Je höher das Stück Seitenwand liegt, bei welchem nach dem Seitendruck gefragt wird, desto geringer ist natürlich derselbe, und wird am Wasserspiegel selbst Null. Der Druck auf ein gegebenes Stück Seitenwand ist daher stets dem Druck einer Wassersäule gleich, welche eine Basis gleich der Fläche des gegebenen Stücks und eine Höhe gleich der Entfernung des Schwerpunktes dieses Stücks vom Wasserspiegel hat. Entfernt man ein Stück der Wandung, so fließt das Wasser durch das Loch unter dem dieser Stelle entsprechenden Drucke aus; die Geschwindigkeit des Strahls, mithin die sich ergießende Wassermenge, muß um so größer sein, je näher das Loch sich am Boden befindet. Vorausgesetzt daß das Wasser in dem Gefäß durch Zufluß von oben immer auf gleicher Höhe erhalten wird, gilt hierfür die Regel: die Wassermengen, welche zu gleicher Zeit aus gleichgroßen, in verschiedener Höhe gelegenen Löchern sich ergießen, verhalten sich wie die Quadratwurzel der Höhe der über ihnen stehenden Wassersäule. Uebrigens hat auch die Form der Ausflußmündungen und der Ansatzrohre, so wie die Temperatur der Flüssigkeit Einfluß auf die Ausflußmenge, doch würden uns weitere Erörterungen hierüber, so wie über die eigenthümlichen Formen des Wasserstrahls hier zu weit führen.

Wir haben nun auf das Verhalten fester Körper in Flüssigkeiten einen Blick zu werfen. Jedes Kind weiß, daß gewisse Körper im Wasser schwimmen,

andere untersinken. Körper der ersteren Art sind specifisch leichter, die andern specifisch schwerer als Wasser. Ein in eine Wassermasse gehangener Körper, z. B. ein Cylinder, hat unter sich eine Wassersäule, welche ihn aufwärts, und über sich eine, welche ihn abwärts drückt. Den Druck von unten nennt man den Auftrieb; er beträgt stets so viel als das Gewicht des durch den Körper verdrängten Wassers, und äußert sich natürlich nicht blos an schwimmenden Körpern, sondern auch an gesunkenen, die dadurch um so viel erleichtert werden. Dies wird durch den Archimedes'schen Satz ausgedrückt: ein unter Wasser getauchter Körper verliert so viel an seinem Eigengewicht, als die Wassermasse wiegt, die er aus ihrer Stelle verdrängt. Es sind daher, wie bekannt, schwere Körper unter Wasser viel leichter zu heben als über demselben, da im ersten Falle nur der Gewichtsunterschied zwischen dem Körper und dem Wasser gehoben zu werden braucht. Bei schwimmenden Körpern ragt meist ein kleinerer oder größerer Theil ihrer Masse über den Wasserspiegel hervor, daher nach demselben Gesetz die eingetauchte Partie des Körpers so viel Wasser verdrängen muß, als der ganze Körper wiegt.

Die Zahl, welche angiebt um wie viel mal ein Körper schwerer oder leichter ist als Wasser, drückt das specifische Gewicht desselben aus. Uebereinkünftlich nimmt man das Gewicht des reinen Wassers bei 4° des hunderttheiligen Thermometers als Einheit an, um damit die Gewichte der andern Körper zu vergleichen. Bleibt ein Körper, der ganz unter Wasser getaucht ist, an jeder Stelle in Ruhe, so ist sein absolutes Gewicht gleich dem Gewicht der eben so großen Wassermasse, die er verdrängt, und sein specifisches Gewicht ist somit = 1. Sinkt der Körper im Wasser unter, so hat man ihn erst in freier Luft und dann, an einen Faden aufgehängt, im Wasser zu wiegen, und die letztere kleinere Gewichtszahl von der ersten, dem absoluten Gewicht des Körpers, abzuziehen. Der Rest besagt, wie viel die gleichgroße Wassermenge wiegt und wenn man mitdieser Zahl in das absolute Gewicht des Körpers dividirt, so erhält man das specifische Gewicht des Körpers. Wöge z. B. ein Körper 400 Gramm in der Luft und 280 im Wasser, so wöge das verdrängte Wasser 120 und man erhielte, mit dieser Zahl in 400 dividirt, das specifische Gewicht $3^1/_3$, oder, da Brüche bei dieser Gewichtsbestimmung meist in Decimalzahlen ausgedrückt werden, 3,333... Schwimmt ein Körper auf dem Wasser, so muß er, um sein specifisches Gewicht zu ermitteln, mit einem schwereren Körper verbunden eingesenkt werden. Man hat beide Körper einzeln in der Luft zu wiegen, dann den Gewichtsverlust beider zusammen im Wasser und endlich den Gewichtsverlust des schwereren zu bestimmen und die letzte Ziffer von der vorletzten abzuziehen. So erfährt man wie viel der schwimmende Körper Wasser verdrängt hat und da dieses natürlich mehr wiegt als der Körper selbst, so erhält man durch Dividiren in sein Eigengewicht als Ausdruck seines specifischen Gewichts stets einen Bruch.

Das specifische Gewicht von Flüssigkeiten findet man, wenn man irgend einen die Flüssigkeit nicht einsaugenden Körper erst in der Luft, dann im Wasser und zuletzt in der zu untersuchenden Flüssigkeit wiegt. Der Gewichtsverlust des Körpers in der Flüssigkeit, dividirt durch seinen Gewichtsverlust im Wasser, giebt dann das specifische Gewicht der Flüssigkeit.

Alle Erscheinungen beim Gleichgewicht und der Bewegung der Flüssigkeiten beruhen lediglich auf der Schwerkraft und dem flüssigen Zustande, vermöge dessen die einzelnen Theilchen dem Zuge der Schwere mit Leichtigkeit folgen können. Das Wasser begiebt sich daher aus eben dem Grunde von einer höhern Stelle nach einer tiefer gelegenen, aus welchem eine Kugel einen Abhang hinunterrollt. Deshalb werden auch auf einer Wasserfläche selbst alle entstandenen Vertiefungen immer wieder ausgeglichen, da die benachbarten Wassertheilchen so lange hineinfließen, bis die Fläche wieder eben, und so das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Wird ein schwimmender Körper unter das Wasser gedrückt und losgelassen, so ändert die Schwerkraft den abnormen Zustand, daß das Schwere oben, das Leichtere unten ist, sofort in das Gegentheil um; es drängen sich so lange Wassertheilchen unter den Körper, bis er hoch genug gehoben ist, um mit der Flüssigkeit im Gleichgewicht zu sein.

Schwimmt ein Körper im Wasser, so ist er gleichsam in einen Apparat aufgehängt, in welchem er nach allen Seiten leicht beweglich ist; er wird daher jederzeit die Lage annehmen, in welcher sein Schwerpunkt am tiefsten liegt. Es kommt auf die Form und die Massenvertheilung des Körpers an, welche Lage er vorzugsweise im Wasser annehmen wird. Eine Kugel aus gleichförmiger Masse schwimmt in jeder möglichen Lage gleich gut, ebenso ein Würfel auf jeder seiner Flächen. Bei ihnen liegt der Schwerpunkt senkrecht **über** dem Schwerpunkt des durch sie verdrängten Wassers. Sind leichte und schwere Theile zu einem Ganzen verbunden, wie z. B. ein Holzcylinder, der an dem untern Ende ein metallenes Gewicht trägt, oder an einem beladenen Schiff, so wird der Schwerpunkt meist **unter** den Schwerpunkt des verdrängten Wassers fallen; das Gleichgewicht des Körpers ist dann ein stabiles und das Schwimmen geht um so steter und sicherer von statten.

Fällt Wasser frei herunter, so findet kein Seitendruck statt, wie man daran sieht, daß der Strahl geschlossen bleibt; dasselbe findet bei einem horizontalen Wasserstrahl statt. Auch bei jedem fließenden Wasser ist der Theil des Drucks, welcher die Geschwindigkeit hervorrief, rechtwinklig auf die Bahn der Flüssigkeit aufgehoben; es übt also fließendes Wasser keinen stärkeren Seitendruck aus als stehendes. Dagegen erzeugt das fließende Wasser in der Richtung des Laufes einen Druck oder auf ruhende Körper einen Stoß, der um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit des Wassers und die getroffene Fläche. Strömt ein Wasser mit 12 Fuß Geschwindigkeit, so entspricht dies einer Fallhöhe von $2^1/_4$ Fuß. Hält man daher dem fließenden Wasser eine offene Röhre entgegen, so wird es in derselben $2^1/_4$ Fuß über den Wasserspiegel empor steigen. Bei 2, 3, 4facher Geschwindigkeit des Wassers wächst die Stoßkraft, ganz den Fallgesetzen gemäß, um das 4, 9, 16fache. Hat die gestoßene Fläche eine schiefe Lage, so kann man den Stoß zerlegen, wie bei festen Körpern.

Weiteres über die physikalischen Eigenthümlichkeiten der Flüssigkeiten wird beizubringen sein, wenn wir die hauptsächlichsten Maschinen in Betracht ziehen werden, welche auf dem Druck und der Bewegung des Wassers beruhen. Mit demselben Vorbehalte werden wir noch Einiges vorausschicken über

Das Verhalten der Gase.

Die Hauptrepräsentanten der Gase in Bezug auf die Mechanik sind die atmosphärische Luft und das durch Hitze in Gasform versetzte Wasser. Die einzelnen Theilchen der Gase besitzen eine noch größere Beweglichkeit unter sich als die der tropfbaren Flüssigkeiten; man muß sogar annehmen, daß sie durch bedeutende Zwischenräume von einander getrennt sind. Hieraus ergiebt sich aber die den Gasen besonders zukommende Eigenschaft der Elasticität. Während eine Flüssigkeit fast unzusammendrückbar ist, und selbst eine bedeutende Kraft sie nicht in einen merkbar kleinern Raum zu pressen vermag, giebt dagegen ein Gas leicht dem Druck nach und läßt sich auf die Hälfte, das Drittel oder Viertel seines ursprünglichen Raumes reduciren. Hört der Druck auf, so nimmt es seinen früher behaupteten Raum wieder ein. Ist andererseits ein Gas in ein Gefäß eingeschlossen und der innere Raum desselben wird auf irgend eine Art, also z. B. durch den Hub eines Kolbens vergrößert, so dehnt sich das Gas sofort aus, und nimmt stets den ganzen Raum ein.

Was von der Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten gesagt ist, gilt größtentheils auch für die Gase; nur werden bei diesen, da hier ihre Elasticität mit ins Spiel kommt, die Erscheinungen einigermaßen modificirt auftreten müssen.

Alle Gase haben eine Schwere, obwohl nicht alle die gleiche; es giebt schwerere und viel leichtere Gase als die Luft. Die Schwere der letzteren erkennt man daran, daß hohle Körper weniger wiegen, nachdem man sie luftleer gemacht hat. Versuche haben ergeben, daß 1 Kubikfuß Luft bei 0° Wärme und 28 Zoll Luftdruck etwa $2^1/_4$ Loth schwer, also 770 mal leichter als Wasser ist. Die uns zunächst umgebende Luft wird von allen über ihr liegenden Luftschichten gedrückt und hält diesem Drucke durch ihre Elasticität das Gleichgewicht. Die Last, mit welcher die Luft auf die festen und flüssigen Körper drückt, ist der natürliche Luftdruck oder der Druck einer Atmosphäre.

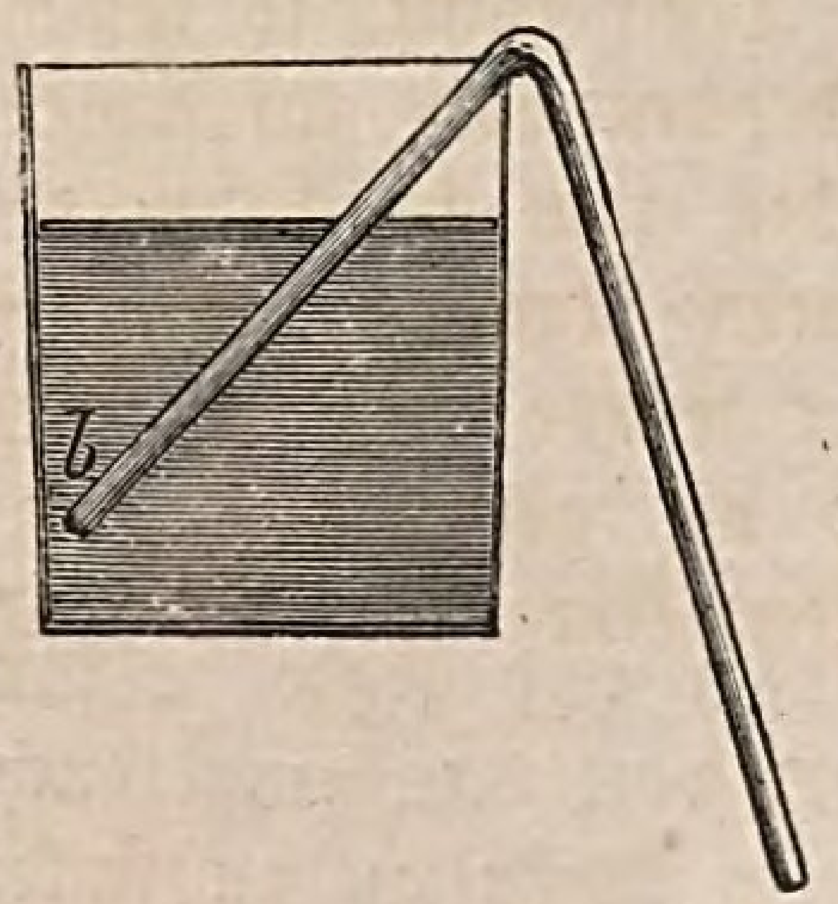
Den Luftdruck zu messen lehrte zuerst Toricelli. Als einmal Brunnenmacher in Florenz das Wasser durch ein Saugrohr ungewöhnlich hoch heben wollten, sahen sie zu ihrem Erstaunen, daß es nicht höher als 32 Fuß stieg. Sie erholten sich Raths bei dem berühmten Galilei, der bald die wahre Ursache vermuthete; sein Schüler Toricelli aber lieferte den Beweis dafür. Er folgerte etwa so: Wenn zwei Flüssigkeitssäulen von ungleicher Dichtigkeit sich das Gleichgewicht halten, so müssen ihre Höhen sich umgekehrt verhalten wie ihre Dichtigkeiten. Hält nun der atmosphärische Druck eine Wassersäule von 32 Fuß, so muß eine Quecksilbersäule, da dieses Material 14 mal dichter ist als Wasser, unter gleichen Umständen $^{32}/_{14}$ Fuß, das ist nahezu 28 Zoll hoch sein. Er nahm demzufolge eine an einem Ende geschlossene Glasröhre von etwa 30 Zoll, füllte sie ganz mit Quecksilber, verschloß sie mit dem Finger und setzte sie umgekehrt in ein Gefäß mit Quecksilber. Nachdem der Finger von dem eingetauchten offenen Ende weggezogen war, fing das Quecksilber im Rohr an zu sinken und blieb ziemlich genau auf der vorausgesetzten Höhe stehen. Die Quecksilbersäule in der Röhre mußte also das Gegengewicht einer Luftsäule von demselben

Querschnitt sein, die bis an die Grenze der Atmosphäre reichte. Wie man sieht war dieser Apparat das Vorbild unseres heutigen Barometers, welches bald ein allgemeines Beobachtungsinstrument wurde, nachdem man gefunden, daß die Höhe des Quecksilberstandes, also der Luftdruck, nicht zu allen Zeiten und an allen Orten derselbe sei. Daß die Säule auf hohen Bergen, wo der Luftdruck ein geringerer sein muß, niedriger sein werde, setzte schon Toricelli bestimmt voraus und hatte die Freude, es durch Versuche bestätigt zu sehen. Bei etwa 73 Fuß Neigung fällt in den untern Luftschichten die Säule um 1 Linie, mithin verhält sich die Schwere beider Körper wie diese Längen, d. h. das Quecksilber ist 10512 mal schwerer als die Luft.

Nachdem man weiß, daß die Atmosphäre (in der Höhe der Meeresfläche) mit einem Gewicht wie eine Quecksilberschicht von 28 Pariser Zoll auf ihre Unterlage. drückt, so läßt sich aus dem specifischen Gewicht des Quecksilbers der Luftdruck auf jede gegebene Fläche leicht berechnen. Derselbe beträgt auf 1 preußischen Quadratzoll etwas über 15 preußische Pfund (15,11), mithin auf den Quadratfuß fast 2176 Pfund (2175,84).

Jedermann weiß, wie man unter Zuhülfenahme einer Papierscheibe ein mit Wasser gefülltes glattrandiges Glas gänzlich umkehren kann, ohne daß ein Tropfen herausläuft. Nichts anderes als der Druck der Luft auf das Papier und die Wasserfläche hält das Wasser im Glase zurück, und es wäre dieses eines der schlagendsten Beweismittel für das Dasein des Luftdrucks, wenn derselbe überhaupt noch bewiesen werden müßte. Das Papier ist nur nöthig um das Umkehren thunlich zu machen und alsdann um das Wasser in einer ebenen Fläche zu erhalten, denn die Luft würde nie mit so völliger Gleichmäßigkeit auf das bloße Wasser drücken, daß nicht alsbald eine Störung der ebenen Fläche eintreten müßte, und die Folge würde dann sein, daß während die Luft auf einer Seite eindränge, das Wasser auf der andern herausfiele. Ist die Wasserfläche klein genug, so tritt dieses Auslaufen nicht ein und das Papier wird unnöthig, wie wir an dem bekannten Stechheber sehen, mit welchem ansehnliche Flüssigkeitsmassen getragen werden können, so lange die obere Oeffnung mit dem Finger geschlossen gehalten wird.

Fig. 30.



An dem Saugheber gestalten sich vermöge seiner Einrichtung die Erscheinungen anders, folgen aber ebenfalls den Gesetzen des Luftdrucks. Er ist im Wesentlichen eine gekrümmte Röhre, deren Schenkel eine ungleiche Länge haben. Wird der kürzere Schenkel in eine Flüssigkeit getaucht und die ganze Röhre mit derselben gefüllt (entweder durch Saugen mit dem Munde am längeren Rohr oder besser durch ein besonders angebrachtes Saugrohr), so läuft sie am Ende des längeren Schenkels, welcher tiefer liegt als b, fortwährend aus, bis die Flüssigkeit nahe dem Ende b gesunken ist. Die Vorgänge hierbei sind folgende: Auf der einen Seite hat die Wassersäule vom Knie des Hebers bis zum freien Ende, auf der andern die Wassersäule vom

Knie bis zum Spiegel der Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere ein Bestreben herabzufallen; der Schwere der in beiden Schenkeln befindlichen Wassersäulen wirkt aber auf beiden Seiten der Luftdruck entgegen, der einerseits auf die Ausflußöffnung, anderseits auf den Wasserspiegel im Gefäß wirkt und dadurch die Bildung eines leeren Raumes im Innern der Röhre verhindert, welcher sich nothwendig am Knie bilden müßte, wenn die Wassersäulen auf beiden Seiten herabliefen. Wären die Wassersäulen in beiden Schenkeln gleich hoch, so würde, da der Luftdruck auf beiden Seiten gleich ist, ein vollkommenes Gleichgewicht hergestellt sein und kein Wasser abfließen; so aber liegt die Ausflußöffnung tiefer als der Wasserspiegel, die äußere Säule hat dadurch das Uebergewicht und fließt ab, und in dem Maße als hier das Wasser ausläuft, wird durch den Luftdruck auf der andern Seite immer von neuem Wasser in den kürzern Schenkel getrieben, bis der Spiegel so nahe nach b hin gefallen ist, daß statt Wasser Luft in den kürzern Schenkel treten kann.

Mariotte studirte die Erscheinungen, welche beim Zusammendrücken der Gase auftreten. Er fand daß Luft, die einen Druck von zwei Atmosphären auszuhalten hat, nur noch die Hälfte des ursprünglichen Raums einnimmt, daß ein Druck von drei Atmosphären sie auf $^1/_3$ reducirt u. s. w. Er stellte also das Gesetz auf: das Volumen der Gase verhält sich umgekehrt wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind. Wird eine Gasmenge auf die Hälfte ihres frühern Volumens zusammengedrückt, so muß ihre Dichtigkeit nothwendig sich verdoppelt haben; daher läßt sich das Mariottesche Gesetz auch so ausdrücken: die Dichtigkeit der Gase ist dem Drucke proportional, den sie auszuhalten haben. Eben so richtig bleibt der Satz, wenn man für Dichtigkeit Widerstand oder Elasticität setzt, denn je mehr Luft oder ein anderes Gas zusammengepreßt wird, desto größer wird der Widerstand desselben und der Druck auf die einschließenden Wände.

Bei obigen Sätzen ist eine gleichbleibende Temperatur vorausgesetzt. Preßt man eine Gasmasse rasch zusammen, so wird durch den Druck selbst die Temperatur erhöht und die Spannung erscheint in Folge dessen für den Anfang und bis die Temperaturen sich ausgeglichen, größer als die berechnete; ganz das Gegentheil findet bei rascher Verdünnung eines Gases statt. Versetzt man eine Gasmasse geflissentlich in eine höhere oder niedrigere Temperatur, so kommt es darauf an, ob ihr Gelegenheit gegeben ist sich auszudehnen oder zusammenzuziehen oder nicht. Im ersten Falle wird das Gas den ihm in Folge der Temperaturveränderung zukommenden größern oder kleinern Raum einnehmen, ohne daß der Druck auf die Gefäßwandungen ein andrer würde; können aber die einschließenden Wandungen nicht nachgeben, so wird bei gesteigerter Temperatur eine Vermehrung der Spannung, bei erniedrigter eine Verminderung derselben die Folge sein.

II.

Bewegende Kräfte.

Als Quellen mechanischer Kraft stehen uns sowohl Menschen und Thiere, als verschiedene Kräfte der unbelebten Natur zu Gebote. Die Kräfte der belebten Motoren hängen von so vielerlei Umständen ab, daß ein bestimmter Maßstab dafür sich kaum aufstellen läßt. Die Anstrengung, die ein Mensch oder Thier während weniger Augenblicke auszuüben im Stande ist, übersteigt bei weitem diejenige Leistung, welche dasselbe im Laufe des ganzen Arbeitstages fortzusetzen im Stande ist. Die momentane Anstrengung heißt die absolute Kraft, die Tagesleistung die dauernde Kraft. In der Tagesleistung giebt es eine gewisse Geschwindigkeit der Arbeit, bei welcher der größte Nutzeffect erzielt wird; man bezeichnet diesen mit dem Ausdruck Maximum der Leistung.

Bei der Benutzung der belebten Motoren, also der Menschen und Thiere, kommen Umstände in Betracht, die bei den leblosen wegfallen. Während es bei letzteren sich gleich bleibt, ob sie längere oder kürzere Zeit hindurch wirken, kommt es bei den ersteren an auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Arbeit verrichtet werden muß, und auf die Dauer derselben. Bekannt ist, daß Menschen, die schwere Lasten tragen, nur langsam und mit kleinen Schritten vorwärts gehen können, und daß man eine sehr große Last höchstens noch halten, aber nicht mehr fortschaffen kann. Im Allgemeinen läßt sich indeß annehmen, daß es für einen mäßig starken Menschen gleichgültig ist, ob er 30 Pfund mit 2 Fuß Geschwindigkeit, oder 20 Pfund mit 3 Fuß Geschwindigkeit fortschafft, denn die sogenannten Bewegungsmomente, die Producte aus Last und Geschwindigkeit, sind in beiden Fällen dieselben ($30 \times 2 = 60$ und $20 \times 3 = 60$). Daß Menschen und Thiere des Ausruhens bedürfen und daß die Gewohnheit großen Einfluß auf ihre Leistungsfähigkeit hat, ist eben so bekannt. Zur Bestimmung dieser finden sich in größern Werken viele Sätze und Formeln aufgestellt, die indeß immer nur einen relativen Werth haben können.

Die absolute Kraft, die ein Mensch mit den Händen drückend auszuüben vermag, ist im Durchschnitt etwa 110 Pfund; die vortheilhafteste Richtung der Arme ist hierbei eine Linie, die mit der senkrechten einen Winkel von 45° beschreibt. Die größte Kraft entwickelt ein Mann beim Aufheben einer Last bis zur Kniehöhe. Die größte Last, die ein Mann für einige Augenblicke auf seinen Schultern tragen kann, wird gewöhnlich zu 330 Pfund angenommen; 200—250 Pfund werden nicht selten von starken Arbeitern auf weitere Strecken getragen und es übertrifft in dieser Hinsicht der Mensch das Pferd. Beim Ziehen von Schiffen am Tau entwickelt dagegen ein Mensch nur $^1/_{27}$ von der Stärke eines Pferdes. Dreht ein Mann einen Haspel, so übt er auf dem Theile des Kreises, wo er die Handhabe von sich stößt, mehr Kraft aus als

wo er sie anzieht. Kann er bei dieser Arbeit den Tag über vielleicht 30 Pfund heben, und es tritt ein gleichstarker Mann auf die andere Seite des Haspels, so werden beide nunmehr 70 Pfund heben können, indem die Kraftäußerung immer bei dem einen da am stärksten ist, wo sie beim andern am schwächsten, und durch diese gegenseitige Ergänzung ein Vortheil von 10 Pfund gewonnen wird. Die Benutzung der Menschenkraft in Lauf- und Treträdern giebt ziemlich gute Resultate. Der Mensch geht dabei eine schiefe Ebene hinan und sinkt durch seine Schwere immer wieder zurück, stellt also hier ein sich selbst aufziehendes Gewicht vor. Die Arbeit eines Menschen im Laufrade, das nur durch die ihm nothwendige Größe beschwerlich wird, beträgt etwa die Hälfte mehr als die, welche er an der Kurbel leisten kann.

Die Kraft des Pferdes ist am geringsten beim Ersteigen von Anhöhen, und es können in einem solchen Falle drei Menschen mehr leisten als ein Pferd; dagegen ist die absolute Kraft des Pferdes im horizontalen Zuge beträchtlich und wird im Durchschnitt zu 770 Pfund angenommen, so daß ein Pferd bei momentaner Anstrengung so stark wäre als 7 Menschen. Die andauernde Kraft des Pferdes ist indeß beträchtlich geringer und wird gewöhnlich bei mittlerer Geschwindigkeit der von 6, auch wohl nur 5 Menschen gleich gesetzt. Auf die Dauer wird das Verhältniß noch dadurch gemindert, daß der Mensch in der Regel ein paar Stunden täglich länger angestrengt arbeiten kann als das Pferd. In einem Göpel gehend entwickelt ein Pferd seine Kraft unter dem günstigsten Verhältniß, wenn der Kreis 40 Fuß Durchmesser hat; ist er nur halb so groß, so gehen gegen $^2/_5$ der Pferdekraft verloren. Ueberhaupt ist der Nutzeffect des Pferdes am Göpel nur die halbe Pferdekraft, da die andere Hälfte zur Ueberwindung der Reibung in den Zapfen verwendet wird.

Als Leistung eines mittleren Pferdes hat man gefunden, daß dasselbe im horizontalen Zuge ein Gewicht von 112 Pfund in einer Secunde 4 Fuß hoch heben kann. Demnach wäre die Arbeit eines Pferdes per Secunde 448 Fußpfund; es ist aber, wie schon erwähnt, eine Pferdekraft in der Praxis in runder Summe gleich 550 Fußpfund angenommen worden.

Die bewegende Kraft des **Windes** ist, trotz ihrer Unzuverlässigkeit, doch vielfach da von Nutzen, wo es an fließendem Wasser fehlt und andere Motoren zu kostspielig sein würden. Die Berechnung der Windkraft kann begreiflicherweise bei der großen Veränderlichkeit dieses Elementes nur sehr ungefähre Angaben liefern. Gewöhnlich wird angenommen, daß ein mäßiger Wind, der etwa $12^1/_2$ Fuß in der Secunde zurücklegt, auf den Quadratfuß einer Oberfläche mit einer Kraft von 2 Unzen drücke. Eine allgemeine Regel lautet: die Kraft des Windes ist fast gleich dem Quadrat der Geschwindigkeit des geraden Stoßes, und fast gleich dem Product aus dem Quadrate der Geschwindigkeit und dem Quadrate des Sinus des Anprallwinkels bei schrägem Stoße. Durch Versuche will man indeß gefunden haben, daß die Windkraft in etwas rascherem Verhältniß zunehme als die Geschwindigkeit und die Ausdehnung der getroffenen Oberflächen. Die Instrumente, welche zu Versuchen über die Kraft des Windes dienen, heißen Anemometer.

Die gewöhnlichste Benutzung des Windes zu mechanischen Zwecken ist die vermittelst vertikaler Räder. Diese bestehen meist aus einer Welle, welche etwas gegen den Horizont geneigt ist, da der Wind meist ebenfalls eine schwache Neigung gegen den Horizont hat. Es ist entweder das ganze Mühlgebäude oder das Dach desselben so drehbar, daß die Welle immer in die Richtung des Windes gebracht werden kann. Mühlen neuerer Bauart stellen sich vermöge eines kleinen Windrades mit entsprechendem Mechanismus von selbst ein. An der Welle sitzen 4, zuweilen 5 Windflügel, entweder mit Segeltuch überzogen oder mit abzunehmenden Tafeln von Holz oder Blech ausgefüllt. Die Flügel bilden zunächst der Welle einen Winkel von etwa 30 Grad mit der Ebene des Rades, an den äußersten Enden nur von etwa 12 Grad; der Stoß des Windes auf diese schiefen Flächen hat natürlich die Drehung des Rades zur Folge. Die Bewegung eines Windrades wird benachtheiligt, wenn die Geschwindigkeit seiner Flügelenden größer wird als die des Windes selbst. Die Wirkung einer gewöhnlichen Windmühle bei einer Windstärke von 20—22 Fuß ist etwa 10 Pferdekräften gleich.

Auf die Wasser- und Dampfkraft, bei weitem die wichtigsten mechanischen Motoren, kommen wir später zurück. Letztere beruht auf der Elasticität des durch Hitze in Dampf verwandelten Wassers. Der Dampf ist eine Feder, die statt durch mechanische Kraft vermittelst eines entsprechenden Aufwandes an Brennmaterial in Spannung erhalten wird. Eine wirkliche Feder erfordert, um zu wirken, irgend eine Kraft, welche sie anspannt; sie ist insofern kein eigentlicher Motor, sondern nur der Sammler und Wiederausgeber einer in ihr angehäuften Kraft und ist daher nur für leichtere Triebwerke, besonders Uhren brauchbar. Ganz dasselbe gilt von Gewichten und freifallenden Körpern: bei ihnen ist die Schwerkraft der wirkende Motor und sie entwickeln nur so viel Kraft als durch das Aufziehen in sie gelegt wurde. Dagegen ist das Wasser ein Gewicht, welches durch den Naturvorgang der Verdunstung stets von neuem in kostenloser Weise aufgezogen wird, daher es da, wo es reichlich genug vorhanden ist und nicht Nebenumstände seine Benutzung erschweren, wohl jederzeit der wohlfeilste Motor sein und bleiben wird.

Sowohl bei den belebten als leblosen Motoren besteht ein gewisses Geschwindigkeitsverhältniß, bei welchem der Nutzeffect das Maximum erreicht. Die größte Geschwindigkeit, welche z. B. der Umfang eines unterschlächtigen Wasserrades annehmen kann, ist diejenige, mit welcher das Wasser gegen die Schaufeln fließt. In diesem Falle kann aber das Wasser keinen Druck mehr auf dieselben ausüben und die Arbeit des Rades ist Null; der größte Druck dagegen würde stattfinden, wenn das Rad ganz still stände, aber der Nutzeffect wäre dann wieder Null, und daher muß das passendste Verhältniß zwischen diesen beiden Extremen inneliegen.

Setzen wir mechanische Kräfte in Thätigkeit, so erwarten wir von denselben eine bestimmte Leistung oder **Arbeit**; jede Arbeit aber besteht in der Ueberwindung irgend eines Widerstandes. Bei einem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit auf horizontaler Bahn dahinfahrenden Eisenbahnzuge besteht die Arbeit

der Kraft aus der Ueberwindung der Reibungswiderstände an den einzelnen Wagen; ein Mann, der einen Stein aufhebt, hat die Schwere desselben zu überwinden; beim Mahlen des Getreides, beim Sägen, Hobeln muß die Cohäsionskraft der zu bearbeitenden Stoffe überwunden werden u. s. w.

Soll eine Arbeit in gleichmäßigem Fortgange gethan werden, wie dies in den meisten Fällen verlangt wird, so muß natürlich eine gleichmäßige Bewegung unterhalten werden, also eine fortwährend gleiche Kraft thätig sein. In diesem Falle sagt man, Kraft und Widerstand befinden sich im Gleichgewicht. Wäre die Kraft kleiner als der Widerstand, so würde sie ihn nicht zu überwinden vermögen und die Arbeit müßte aufhören; wäre sie größer, so würde sie mehr leisten als erforderlich; die Bewegung würde eine stetig beschleunigte werden und zwar so lange bis entweder bei irgend einem Geschwindigkeitsgrade wieder Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand eintritt, oder bis, wenn wir uns hier den Gang einer Maschine denken, dieselbe in Stücke geht.

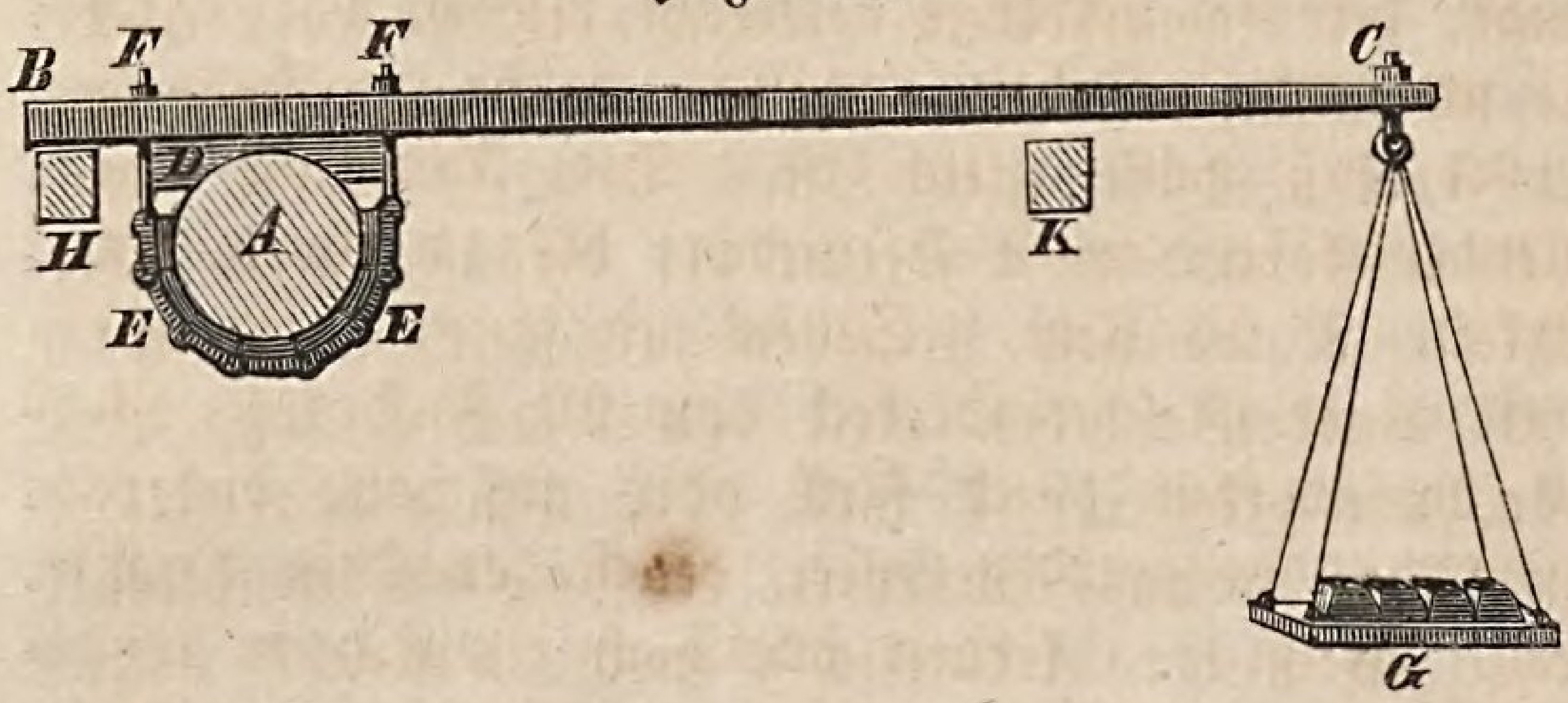
Bei der Leistung einer Kraft kommt in Betracht die Größe des zu überwindenden Widerstandes und die Länge des Weges, auf welchem dieser in einer gegebenen Zeiteinheit überwunden werden muß. Bei der Hebung einer Last kommt es also darauf an, wie groß ihr Gewicht ist und wie hoch sie gehoben werden soll. Hebt ein Mann einen Centner frei auf, so ist seine Kraftanstrengung diesem Gewichte gleich; zieht er dieses Gewicht vielleicht mittelst eines Seiles auf, das über eine Rolle läuft, während er nun horizontal fortgehen muß, so hat sich zwar die Form seiner Arbeit verändert, sie ist aber weder größer noch kleiner geworden, sondern beträgt nach wie vor 1 Centner. Sonach kann man überall, wo eine Kraft thätig ist, ihre Größe dadurch ausdrücken, daß man angiebt, welches Gewicht durch sie in einer bestimmten Zeit auf eine gewisse Höhe gehoben werden könnte. Schon im Eingange wurde der gebräuchlichen Kräftemaße, Fußpfund, Pferdekraft, Erwähnung gethan; ein anderes oft angewendetes ist das Kilogrammmeter, das ist die Hebung einer Last von 1 Kilogramm auf die Höhe von 1 Meter.

Zum Messen der Kräfte von Menschen und Thieren hat man verschiedene Vorrichtungen, welche Dynamometer (Kraftmesser) heißen. Das einfachste Instrument der Art ist die Federwage mit oder ohne Hebelverbindungen; andere beruhen auf der Zusammendrückung eingeschlossener Luft. Im Maschinenwesen ermittelt man das Maß der Kräfte meist durch gewisse Bremsvorrichtungen, am gewöhnlichsten mittelst des umstehend abgebildeten Prony'schen Dynamometers. Solche Instrumente können sowohl dazu dienen, die ganze Kraft, die ein Motor entwickeln kann, zu bestimmen, als auch zu untersuchen, wie viel Kraft in einer getriebenen Maschine durch Reibung verloren geht und wie viel zur Benutzung disponibel bleibt. Vermehrt man die durch ein Bremsdynamometer erzeugte künstliche Reibung so weit, daß der Motor ganz in Stillstand kommt, so kann man aus der Größe des aufgewendeten Widerstandes die Kraft des Motors bestimmen. Die praktische Anwendung des Dynamometers geschieht in folgender Weise.

In den meisten Fällen wird sich in einer Maschine eine umlaufende Haupt-

welle vorfinden, von welcher die Bewegung auf die übrigen Maschinentheile übertragen wird. Will man nun die auf die Maschine wirkende Bewegkraft messen, so setzt man die Welle außer aller Verbindung mit der Maschine. Durch das Dynamometer läßt man nun einen künstlichen Widerstand auf die Welle wirken, den man leicht bemessen kann. Durch Veränderung dieses Widerstandes kann man den Grad der Reibung finden, bei welchem die Welle ganz dieselbe Geschwindigkeit hat als wenn sie die Maschine triebe, und gewinnt so ein Maß für die Kraft, mit welcher die Maschine für gewöhnlich arbeitet, eben so wie man durch Vergleichung der Grade der Reibung mit der Zahl der Umgänge ermitteln kann, welche Geschwindigkeit der Welle die vortheilhafteste sei, d. h. den größten Nutzeffect gewähre. In der Abbildung ist A der Durchschnitt der zu prüfenden Welle. Sie muß genau cylindrisch sein oder wo dies nicht stattfindet, muß ein gußeiserner Muff aufgeschraubt werden. An dem hölzernen Hebel B C sitzt ein Holzstück, das unten so ausgeschnitten ist, daß es einen Theil der Welle umfaßt; eine Kette aus Eisenplatten, die mit Holzstückchen belegt sind, schlingt sich unten um die Welle und kann mittelst der Schraubenbolzen F F beliebig fest angezogen werden. G ist eine Schale zur Auflegung von Gewichten; H K sind Aufhalter, welche verhindern, daß der Hebel sich nach keiner der beiden Richtungen sehr weit von der horizontalen Lage entfernen kann. Wird nach Anbringung dieser Vorrichtung die Welle in Gang gesetzt, so würde sie den Hebel im Kreise herumführen, wenn der Aufhalter dies nicht hinderte; so aber entsteht ein Gleiten der Welle in ihrer Umgürtung, und wenn man dann auf die Schale gerade so viel Gewicht legt, daß der Hebel die horizontale Lage behält, ohne einen der beiden Aufhalter zu berühren, so sind Reibung und Gewicht im Gleichgewicht. Werden die Schraubenköpfe F F fester angezogen, so wird die Reibung natürlich vermehrt, es muß ein schwereres Gewicht aufgelegt werden, um den Hebel im Gleichgewicht zu halten, und die Welle geht langsamer. Den Nutzeffect für jeden Grad der Belastung berechnet man sodann aus dem aufgelegten Gewicht, vervielfacht mit der Geschwindigkeit, welche dasselbe haben würde, wenn es der Bewegung der Welle folgen könnte.

Fig. 31.



Ein in Bewegung befindlicher Körper kommt, wie wir wissen, nur dadurch zur Ruhe, daß äußere Kräfte ihm einen Widerstand leisten. Ein bewegter Körper kann demnach so angesehen werden, als sei eine gewisse Kraft, das Product aus seiner Masse und Geschwindigkeit, in ihm aufgespeichert, vermöge welcher er gewisse Widerstände zu überwinden, also eine Arbeit zu leisten vermag. Diese einem Körper inwohnende Kraft pflegt man seine lebendige Kraft zu nennen;

sie ist, wie wir aus Früherem wissen, so groß als die, welche den Körper in Bewegung setzte. Sind die zu überwindenden Widerstände gleichmäßig wirkende, so wird man aus der Länge des Weges, den der Körper bis zum gänzlichen Stillstande zurücklegte, das Maß seiner lebendigen Kraft entnehmen können. Als Maßeinheit des Widerstandes wird nun die Schwere des Körpers genommen, also der Widerstand, der sich seinem geraden Aufsteigen entgegensetzt. Wir sahen bei den Fallgesetzen und beim Pendel, daß ein Körper durch das Herabfallen von einer gewissen Höhe eine solche Geschwindigkeit oder Kraft erlangt, daß wenn er mit derselben Geschwindigkeit gerade aufwärts geworfen würde, er bis zu derselben Höhe steigen würde, von der er herabgefallen ist. Fällt z. B. eine 6pfündige Kugel eine Höhe von 135 Fuß frei herab, so hat sie eine solche Geschwindigkeit erlangt, daß sie vermöge derselben wieder 135 Fuß steigen würde; sie kann also eine mechanische Arbeit ausüben, welche der Hebung einer Last von 6 Pfund auf 135 Fuß Höhe gleich ist. Den Fallraum von 135 Fuß durchläuft ein freifallender Körper in 3 Secunden; die am Ende des Fallraums erlangte Geschwindigkeit ist 90 Fuß. Sehen wir nun überhaupt eine 6 Pfund schwere Kugel mit einer Geschwindigkeit von 90 Fuß sich bewegen, gleichviel ob sie diese Geschwindigkeit durch Fall oder auf eine andere Weise erlangt hat, so wird immer der mechanische Effect, den sie ausüben kann, der oben angegebene sein müssen. Weiß man ferner, wie hoch ein Körper vermöge der ihm inwohnenden Geschwindigkeit steigen würde, so kann man auch berechnen, wie weit er auf einer Bahn kommen wird, auf der ein größerer oder kleinerer Widerstand als der seiner Eigenschwere zu überwinden ist; je geringer der Widerstand, desto länger wird der zu durchlaufende Weg sein.

Das Anhäufen lebendiger Kraft in einem Körper, um sie dann plötzlich auf einen Punkt wirken zu lassen, kommt in der Praxis in mancherlei Formen vor; der Hammer, der Rammklotz, die Prägwerke mit Balancier sind einfache Beispiele dafür. In andern Fällen, wo die zu überwindenden Widerstände bald größer, bald kleiner werden, oder die arbeitende Kraft selbst sich periodisch ändert, benutzt man die lebendige Kraft eines mitbewegten Körpers als ausgleichendes Mittel. Hierauf beruht die Anwendung der Schwungräder, die wir weiterhin näher kennen lernen werden.

III.

Die einfachen Maschinen.

Der bewegenden Kräfte, die uns von Natur zu Gebote stehen, giebt es, wie wir sahen, nicht viele; hauptsächlich sind es die Muskelkraft der Menschen und Thiere, fließendes Wasser, Dampf und Wind. Diese Kräfte zu reguliren, anzusammeln, zu theilen, zu verbinden, ins Gleichgewicht zu setzen, die Geschwindigkeiten zu mehren und zu mindern, die Richtung der Bewegung zu verändern, ist die Aufgabe der Mechanik. Die Maschinen schaffen keine Kraft, sondern können nur die ihnen mitgetheilte Kraft leiten und verändern und dadurch eine vortheilhaftere Verwendung derselben ermöglichen.

Angenommen ein Mann könnte in einer Minute eine 100 Pfund schwere Last bis zu einer bestimmten äußersten Höhe heben, so wird keine Maschine irgend einer Art ihn in den Stand setzen, in derselben Zeit 1000 Pfund auf die gleiche Höhe zu bringen; er müßte vielmehr die Last in 10 gleiche Theile theilen und jeden Theil einzeln heben. Wendet er aber eine passende Maschine an, so kann er das Ganze auf einmal heben, würde aber dann freilich eine zehnfach größere Zeit brauchen. Somit stehen Geschwindigkeit und Last zu einander im umgekehrten Verhältniß, oder wie die Regel gewöhnlich ausgedrückt wird: *was wir an Kraft gewinnen, verlieren wir an Zeit.*

Bei jeder Maschine finden Bewegungswiderstände statt, namentlich Reibung, daher die von derselben geleistete Arbeit stets kleiner ist als der Kraftaufwand. Bei der theoretischen Betrachtung der Maschinenelemente werden diese Kraftverluste in der Regel als nicht vorhanden angenommen, um möglichst einfache Resultate zu erhalten.

Auch die verwickeltste Maschine läßt sich als eine Zusammensetzung von wenigen einfachen Elementen deuten, welche man die *einfachen Maschinen* oder *mechanischen Potenzen* genannt hat.

Da alle Bewegungen einer Maschine nur geradlinige oder kreisförmige, oder aus beiden zusammengesetzte sein können, so sind der einfachen Maschinen eigentlich nur zwei: die *schiefe Fläche* für die geradlinige, der *Hebel* für die drehende Bewegung. Man rechnet aber zu diesen beiden noch in zweiter Reihe: *den Keil* und *die Schraube*, *die Rolle* und *das Rad an der Welle*. Die beiden ersten lassen sich auf die schiefe Fläche, die zweiten auf den Hebel zurückführen.

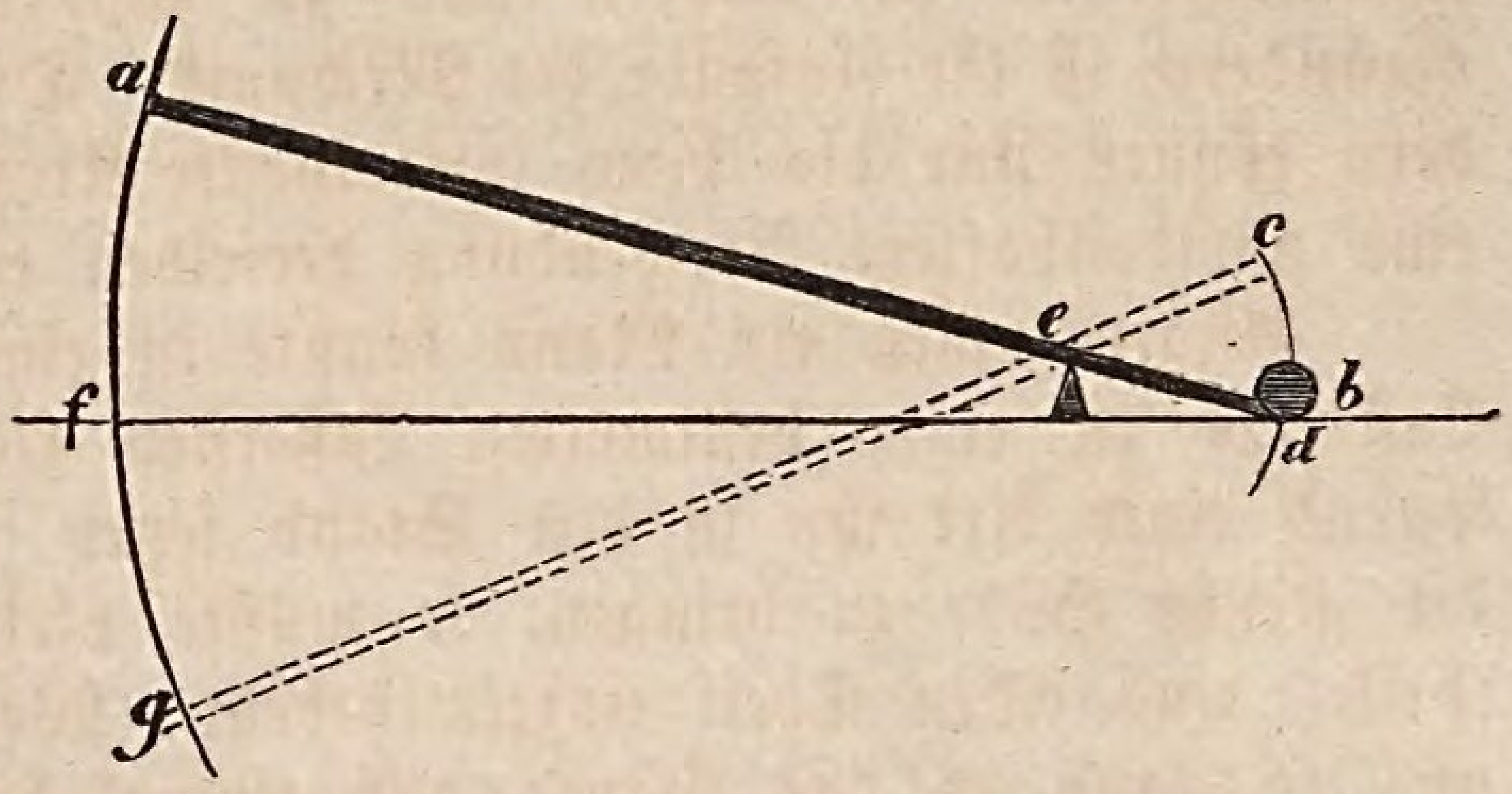
Der Hebel.

Der Hebel ist die einfachste aller Maschinen und kommt in unzähligen Fällen und Formen zur Anwendung. Als bloße gewichtlose Linie gedacht, heißt der Hebel ein *mathematischer*; der stoffliche oder *physische* Hebel besteht aus irgend einer starren Substanz und ist in seiner einfachsten Form eine Stange

oder Balken, welcher in irgend einem Punkte, dem Stütz- oder Drehungspunkte, auch Axe genannt, unterstützt ist und sich um denselben frei drehen kann. Der Stützpunkt und die auf den Hebel wirkenden Kräfte sind die wesentlichen Punkte, die bei jedem Hebel in Betracht kommen. Auf die Arme des Hebels wirken wenigstens zwei Kräfte, die ihn im entgegengesetzten Sinne zu drehen suchen; die widerstrebende oder zu überwindende Kraft nennt man indeß gewöhnlich die Last.

Betrachten wir einen etwas langen Hebelarm, während er sich um seinen Stützpunkt dreht, so fällt sogleich in die Augen, daß die verschiedenen Partien desselben nicht einerlei Geschwindigkeit haben, daß diese vielmehr zunimmt, je weiter ein in's Auge gefaßter Punkt vom Drehpunkt entfernt liegt. Bei einem Hebel mit zwei ungleich langen Armen müssen daher die Geschwindigkeiten beider und folglich die Wege, die die beiden Enden durchlaufen, um so verschiedener sein, je größer die Ungleichheit der beiden Hebellängen ist.

Fig. 32.



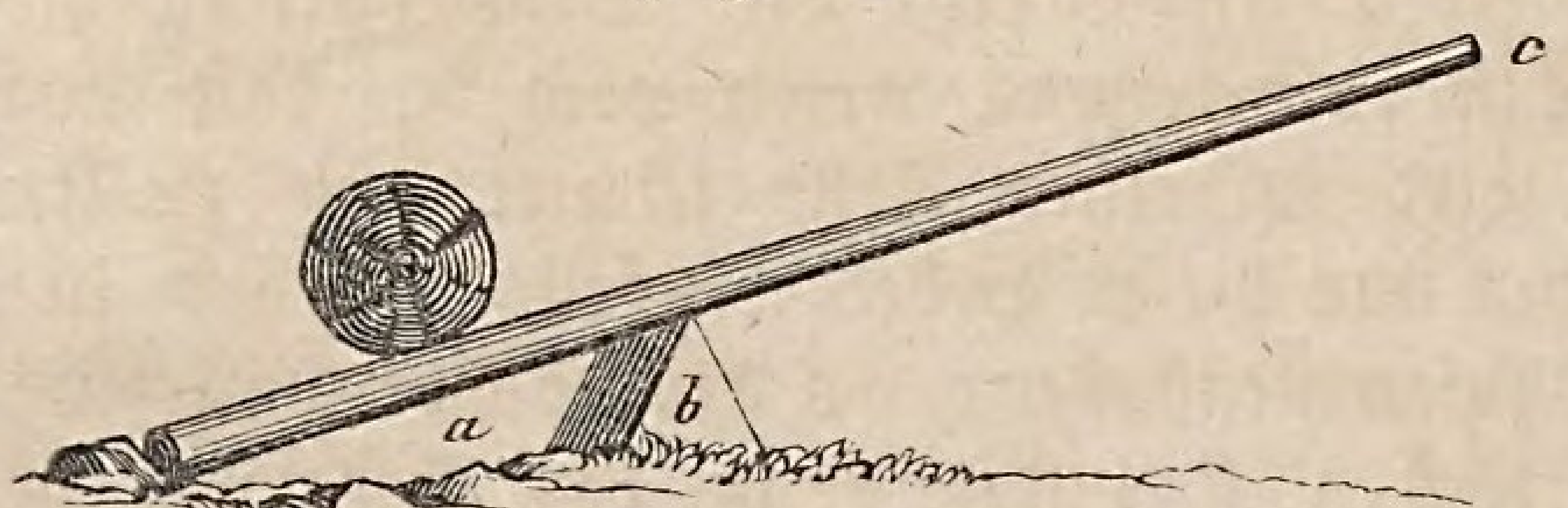
Bringen wir den Hebel a b, der seinen Stützpunkt in c hat, unter das Gewicht d und heben dieses bis c, so beschreibt der lange Hebelarm den Bogen a f g, der kurze dagegen den viel kleinern b c. Wir sehen also, daß je länger ein Hebelarm ist, desto größer seine Geschwindigkeit, denn die Geschwindigkeiten müssen dem durchlaufenen Raume, also dem Durchmesser des beschriebenen Kreisbogens, und folglich der Länge des Hebelarmes proportional sein. Nun wissen wir aber, daß die wirkende Kraft eines bewegten Körpers gleich ist dem Product aus seiner Masse und Geschwindigkeit, daß also ein kleinerer rasch bewegter Körper eben so viel oder mehr wirken kann als ein größerer mit langsamer Bewegung. Wir werden uns daher sogleich sagen müssen, daß um den vorstehenden Hebel in die Lage g c zu bringen, ein kleineres Gegengewicht hinreichen werde als die zu hebende Last d. Nehmen wir an, der eine Hebelarm sei dreimal länger als der andere, die Stange selbst habe gar kein Gewicht und die Last sei 3 Pfund, so wird ein Gewicht von wenig mehr als 1 Pfund die Last bis nach c heben; ist aber das Gewicht gerade 1 Pfund, so ist zwischen beiden Seiten Gleichgewicht, und die Gewichte können weder steigen noch fallen. Bei diesem Gleichgewichtsstande haben wir also in den Hebellängen das Verhältniß von 3 : 1, in den Gewichten das von 1 : 3, und kommen so auf den für alle Arten des Hebels geltenden Grundsatz: Kraft und Last stehen im umgekehrten Verhältniß ihrer Entfernungen vom Stützpunkte, oder je kleiner die Kraft ist, welche der Last das Gleichgewicht halten soll, desto größer muß ihre Entfernung sein. Sind die Bedingnisse des Gleichgewichts erfüllt, so geben beide Hebelarme, wenn man ihre Längen mit den ziehenden Gewichten multiplicirt, gleiche Producte. Z. B. der eine Hebelarm sei 5 Zoll lang und

trage 4 Loth, der andere sei 10 Zoll lang. Da 5 × 4 20 giebt, und auf der andern Seite dasselbe erreicht werden soll, so ersieht man sogleich, daß hier für das Gewicht die 2 eintreten, also dasselbe 2 Loth schwer sein muß. Die durch Multiplication der Kraft mit der Hebellänge erhaltenen Zahlen heißen die statischen Momente.

Es giebt drei verschiedene Arten des Hebels, welche durch die relative Stellung der Kraft, der Last und des Unterstützungspunktes gegen einander sich unterscheiden. Bei dem Hebel der ersten Art liegt der Stützpunkt zwischen Kraft und Last; bei dem der zweiten Art liegt die Last zwischen Stützpunkt und Kraft; bei dem der dritten liegt die Kraft zwischen Stützpunkt und Last. Sonach wird aus einem Hebel der zweiten Art einer der dritten, wenn man Kraft und Last die Stellen wechseln läßt.

Die erste Art des Hebels, bei welcher der Stützpunkt zwischen Kraft und Last liegt und der demnach ein zweiarmiger Hebel ist, dient im gewöhnlichen Leben vorzugsweise zum Heben oder Lüften schwerer Lasten oder Massen und heißt dann Brechstange, Hebebaum u. s. w. In der nebenstehenden Figur, die eine Abbildung dieses Hebels giebt, ist a die Last, b der Stützpunkt, c der Angriffspunkt für die Kraft. Die Richtung der Kraft ist beim zweiarmigen Hebel der der Last entgegengesetzt, er muß nach unten gedrückt werden um die Last zu heben, (er heißt deshalb auch Druckhebel), und es ist dadurch diese Art Hebel zur praktischen Arbeit am besten geeignet, denn der Mensch kann beim Druck nach unten die meiste Kraft ausüben und überdies hilft ihm hier das Gewicht der Stange mit drücken. Man sieht sogleich, daß je länger der Hebelarm c ist, desto leichter, aber auch desto langsamer die Last a gehoben werden wird. Da aber in der Praxis diese Hebellänge dem menschlichen Wuchse angemessen sein muß und also hierin ihre natürliche Beschränkung findet, so muß, um eine stärkere Hebekraft zu gewinnen, der Stützpunkt näher an die Last gebracht werden, da ja bekanntlich alles auf das Verhältniß der beiden Längen a b und b c ankommt. Nach dem uns bekannten Grundsatz ist nun die zum Bewegen einer bestimmten Last erforderliche Kraft in jedem Falle leicht zu finden. Es betrage z. B. die Entfernung zwischen a und b 1 Fuß, zwischen b und c 4 Fuß und die Last wöge 4 Centner, so wird ein bei c angebrachter Druck von 1 Centner der Last das Gleichgewicht halten und ein geringer Zuschuß von Kraft dieselbe heben. Gäbe man dem Hebelende c die doppelte Länge, so würde ein Druck von $^1/_2$ Centner auf dieselbe die gleiche Wirkung thun und es könnte sonach ein Knabe mit halber Manneskraft dieselbe Verrichtung leisten wie der Mann; schade nur, daß ersterer viel früher ermüdet sein würde, da er ja hierbei seine Kraft auf einem doppelt so langen Wege anstrengen muß. Läge der Stützpunkt genau in der Mitte zwischen Kraft und Last, so würden diese beiden in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen und von Kraftgewinn würde daher

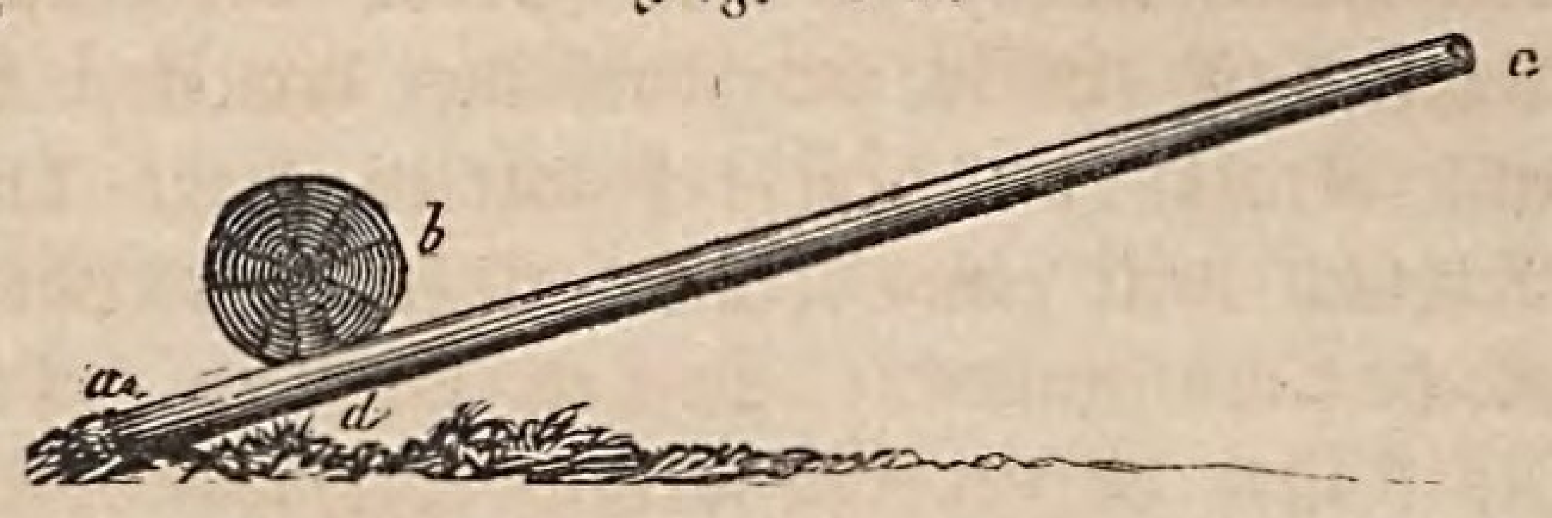
Fig. 33.



keine Rede mehr sein können; die Anstrengung wäre dieselbe wie beim unmittelbaren Aufheben der Last. In Bezug auf die Messung des Lasthebels ist es wohl einleuchtend, daß die wirklich in Anschlag kommende Länge nur die zwischen a und b ist, und daß der Punkt a nur an der Stelle sein kann, wo die Schwerpunktslinie der Last ihn trifft.

Wird derselbe Hebel statt abwärts nach oben zu bewegt, so tritt der Stützpunkt b außer Wirksamkeit, es bildet sich ein neuer Stützpunkt in a und wir haben nunmehr einen Hebel der zweiten Art, bei welchem die Last zwischen dem Stütz- und Angriffspunkte liegt und Kraft und Last einerlei Richtung ihrer Bewegung haben. Da hier also der Stützpunkt am äußersten Ende des Hebels liegt, so heißen solche Hebel einarmige; auch nennt man sie Traghebel. Der Stützpunkt ist hier unveränderlich; dagegen kann die Last bald etwas weiter nach a, bald nach c hin sich befinden und der Hebel wird im ersten Falle leichter, im zweiten schwerer zu handhaben sein. Man kann nun diesen Hebel ebenfalls als aus zwei Armen bestehend ansehen, welche da zusammenstoßen, wo die Schwerpunktslinie der Last durchgeht. Das untere Stück a d bildet dann den Hebelarm der Last, das obere d c den der Kraft und aus ihrem beiderseitigen Längenverhältniß berechnet sich der Kraftaufwand und Kraftgewinn ganz so wie bei der ersten Art des Hebels. Bei dem einarmigen Hebel muß das Gewicht der Stange mit überwunden werden, während es bei dem zweiarmigen fördernd wirkt. In Fällen, wo es darauf ankommt, muß daher dieses Gewicht bei der Berechnung der Kraft zu- oder abgerechnet werden. Der einarmige Hebel macht es uns u. A. sogleich anschaulich, wie ein Mann und ein Kind eine schwere Last an einer langen Stange tragen können, ohne daß letzteres dabei über Gebühr angestrengt wird. Es ist dazu nichts weiter erforderlich, als daß die Last an der Stange sich dem Manne beträchtlich näher befinde als dem Kinde. Hinge sie genau in der Mitte, so würde jede der beiden Personen die halbe Last zu tragen haben; durch Weiterrücken nach der einen Seite kann daher dem schwächern Theile nur das Viertel, Achtel u. s. w. zugetheilt werden.

Fig. 34.



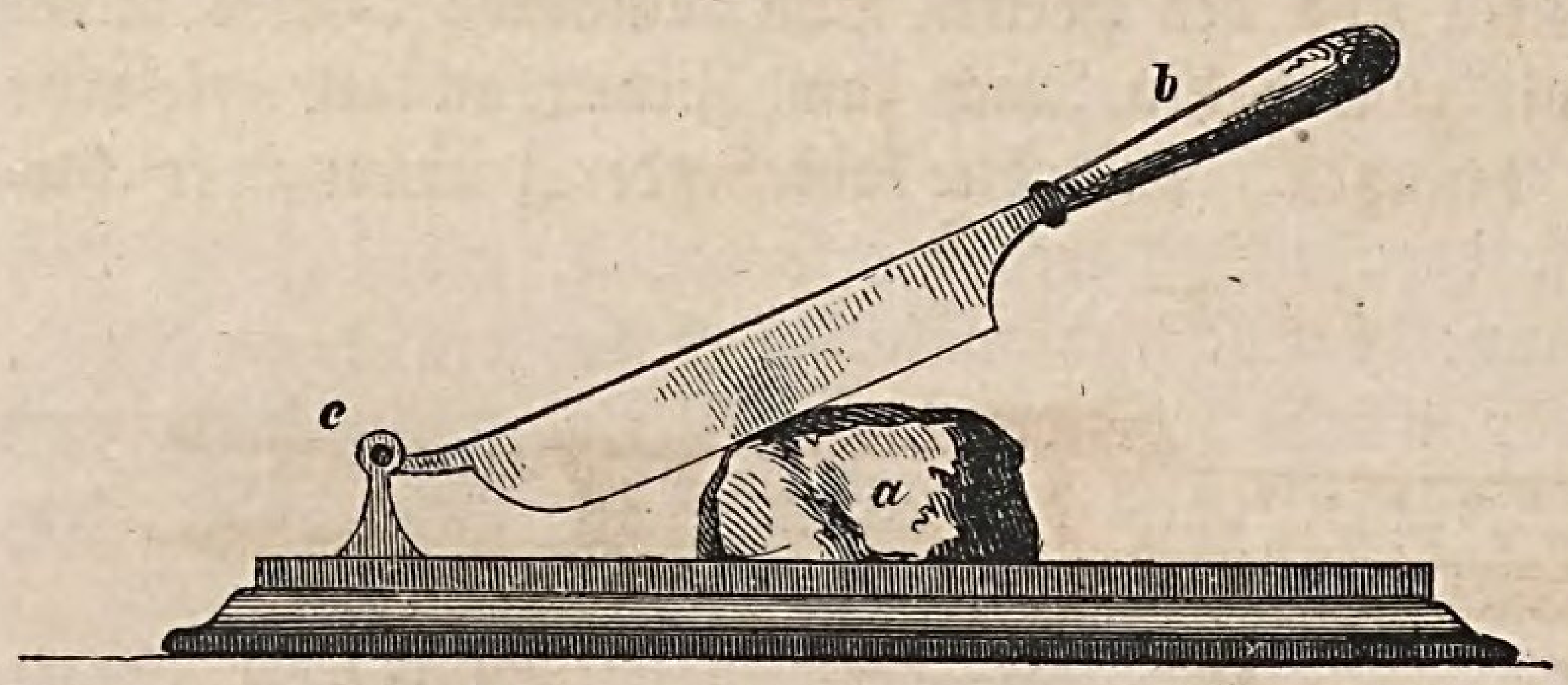
Bei dem Hebel der dritten Art liegt der Angriffspunkt der Kraft zwischen der Last und dem Stützpunkt. Je entfernter die Kraft von der Last und je näher sie folglich dem Stützpunkte ist, einen desto größeren Weg wird die Last zurückzulegen haben und desto größer muß also die bewegende Kraft sein. Wo aber die Kraft größer ist als die Last, kann rücksichtlich der Kraft kein Vortheil gewonnen werden, wohl aber, wo es nicht auf Kraft, sondern auf Geschwindigkeit ankömmt. Ein Hebel dieser Art ist z. B. das Trittbrett am Spinnrad, Schleifstein 2c. Man nennt diese Art Hebel auch den Wurfhebel, und es giebt hierfür der menschliche Arm, so wie überhaupt der Mechanismus der belebten Geschöpfe merkwürdige natürliche Beispiele. Am Arm ist, wenn eine Last nach vorn gehoben oder nach oben geschleu-

dert werden soll, der Elbogen der Stützpunkt, die Muskeln sind die bewegende Kraft, die Knochen die Hebel. Wird etwa ein Gewicht von 50 Pfund gehoben und der Elbogen beschreibt einen Weg von 20 Zoll, so werden sich die von der Achsel herunterlaufenden Muskeln etwa um 1 Zoll zusammengezogen haben und es muß dies mit einer Kraft von 1000 Pfund geschehen sein.

Der Hebel findet in seinen verschiedenen Formen schon in ganz einfachen Geräthen die mannichfachste Anwendung. Zangen, Lichtputzen, Scheeren sind verbundene Hebel der ersten Art, die Scheere wenigstens dann, wenn ihre Griffe länger sind als die Schneiden, wie dies z. B. bei Blechscheeren stattfindet, da hier ein größerer Widerstand zu bewältigen ist. Andere, wie z. B. Papierscheeren, stellen mehr Hebel der dritten Art vor. Die aus einem Stück bestehende Schafscheere, die Feuerzange 2c. sind Hebel dieser letzteren Art. Jeder Thürflügel ist ein einarmiger Hebel und demzufolge an der Seite des Schlosses am leichtesten, nach den Angeln zu immer schwerer in Bewegung zu setzen. Die Klinke ist ein zweiarmiger Hebel, die Schubkarre ein einarmiger oder Traghebel, auf dem sonach die Last um so weniger empfunden wird, je näher sie dem Stützpunkte, der Radaxe liegt.

Das so häufig als Tabaksschneide und zu andern Zwecken benutzte in einem Scharnier hängende Messer giebt sich sofort als Druckhebel zu erkennen. Die Wirkung des Messers im Allgemeinen wird bald mit der des Keils, bald mit der der Säge verglichen; genau genommen können indeß beide Wirkungen nur als beiläufige betrachtet werden, denn das Messer ist keine Säge, wenn nicht der Schnitt darnach geführt wird, und vom Keil unterscheidet es sich dadurch, daß bei diesem die Wirkung von den schiefen Flächen, beim Messer hauptsächlich von der Schneide verlangt wird. Die dem Messer eigenthümliche Wirkung ist, wie eben an der Tabakschneide am deutlichsten wird, eine drückende; die scharfe Kante, welche wir Schneide nennen, verdrängt die ihr gegenüberliegenden Massetheilchen; je schärfer diese Kante ist, eine desto kleinere Anzahl Theilchen trifft sie vor sich an, und desto leichter schneidet also das Messer.

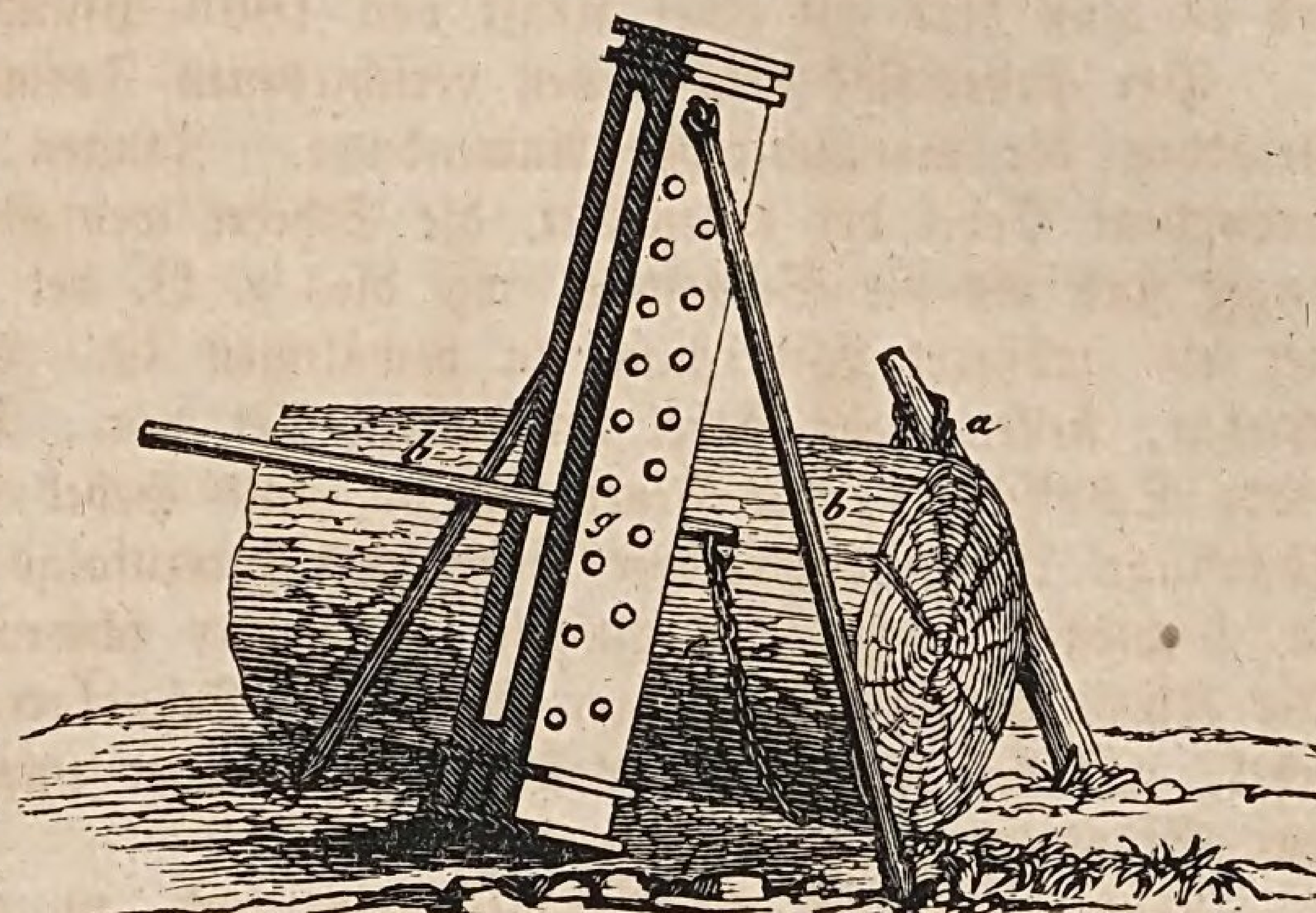
Fig. 35.



Einen vervollkommneten Hebebaum stellt die sogen. Hebelade dar, die zum Heben schwerer Baumstämme u. dgl. benutzt wird. Während die einfache Hebestange nur einen einmaligen Hub auf eine geringe Höhe gestattet, ist ihr hier eine Vorrichtung beigegeben, vermöge welcher der Stützpunkt allmälig erhöht und so die Wirkung mehrerer Hübe zu einem einzigen um so höhern Hube vereint werden kann. Es besteht die Hebelade, wie die Abbildung zeigt, aus einem 8—10 Fuß hohen Körper, der entweder aus einem Stück gearbeitet oder aus Bohlen zusammengesetzt ist. Seitenstützen b b sichern ihn vor dem Um-

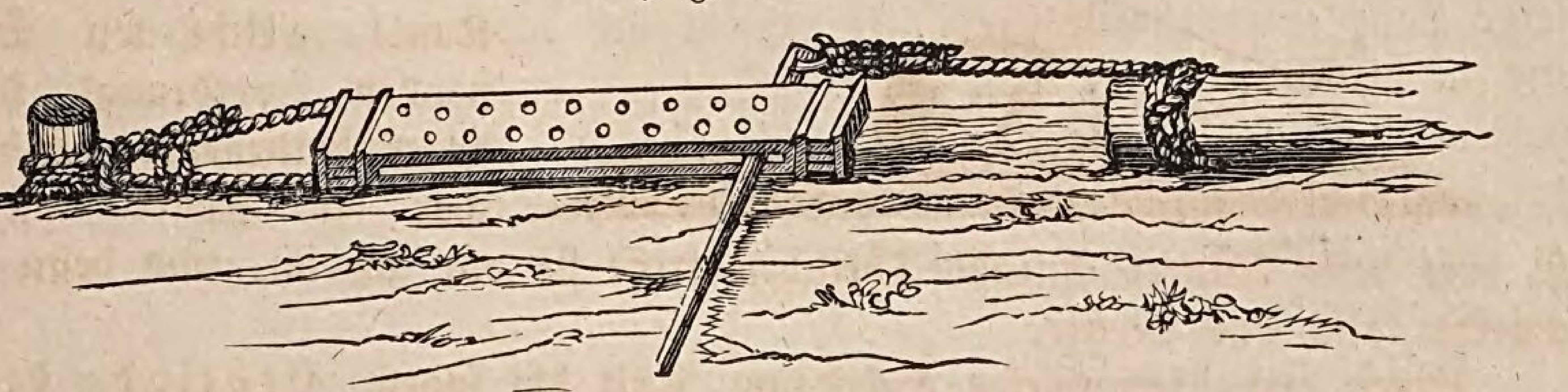
fallen und einige eiserne Spitzen am Fuße vor dem Ausgleiten. Durch seine größte Länge geht eine Spalte, worin der Hebel spielt, und die beiden Seitenwände sind mit zwei Reihen aufeinander passender Löcher durchbohrt. Der wenigstens in der vordern Hälfte aus Eisen bestehende Hebel hat an der Spitze einen Haken und weiter zurück an seiner untern Seite zwei Einschnitte, welche denselben Abstand haben wie je zwei gegenüberstehende Löcher in beiden Reihen. Um mit dem Instrument zu arbeiten, bedarf man noch zweier eiserner Bolzen, welche abwechselnd in ein gegenüberstehendes Löcherpaar eingeschoben werden. Gesetzt man habe bei dem Loche angefangen, über welchem in der Zeichnung g steht, und den Hebel soweit niedergedrückt, daß man durch das rechts in der andern Reihe eine halbe Stufe höher liegende Loch einen Bolzen stecken kann. Die Last hängt jetzt, vermöge des einen Einschnitts am Hebel, einstweilen an diesem Bolzen, wie es eben die Zeichnung darstellt, und es kann der Hebel nun um diesen Bolzen soweit gedreht werden, daß er über das folgende Loch (das über g befindliche) zu stehen kommt und man hier wieder einen Bolzen durchstecken und den zweiten Hub ausführen kann u. s. w.

Fig. 36.



Die Hebelade läßt sich, wie zum Heben, auch zum Ziehen anstatt der Erdwinde oder des Flaschenzuges benutzen, wie die beistehende Zeichnung ersehen

Fig. 37.

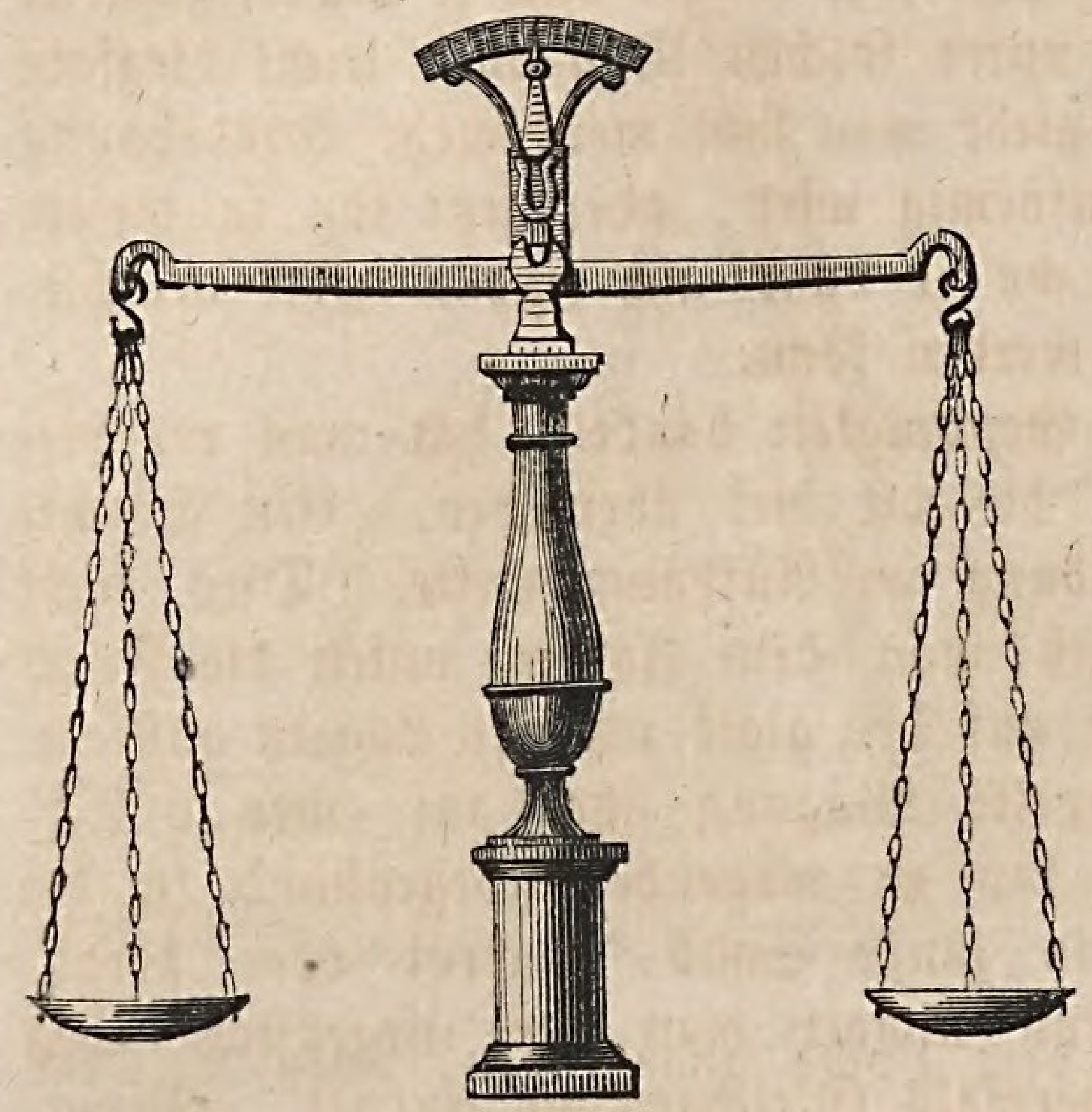


läßt. Sie wird dabei mit dem Kopfe an einen passenden Gegenstand festgelegt, der zu ziehende Körper mit dem Haken des Hebels verbunden und übrigens ganz in der beschriebenen Weise verfahren.

Wie wir wissen giebt es zwei Bedingungen unter denen zwischen zwei in verschiedener Richtung ziehenden Massen Gleichgewicht stattfindet: entweder die Massen sind gleich und befinden sich gleichweit vom Drehungspunkte entfernt, oder sie sind ungleich und das größere Gewicht steht dem Drehungspunkte ver-

hältnißmäßig näher. Auf Grund dieser Hebelgesetze sind die verschiedenen Wagen, d. h. Instrumente zur Vergleichung verschiedener Massen construirt.

Fig. 38.



Die einfachste Gestaltung der Wage ist die gleicharmige, wie sie in Haus und Laden überall vorkommt. Ihr hauptsächlichster Theil ist eben der Hebel oder Balken; die Schalen ändern im Wesen der Sache nichts und können als mit dem Balken eine Masse bildend angesehen werden. Der Balken soll mit und ohne Schalen stets eine horizontale Lage annehmen, bei dem kleinsten Uebergewicht aber nach der überlasteten Seite hinneigen. Der Drehungspunkt der Wage liegt natürlich genau in der Mitte, wo auch der Schwerpunkt des Balkens liegen wird, vorausgesetzt daß der Balken und die übrige Construction fehlerfrei ist. Denken wir uns nun daß beide Punkte zusammenfielen, so würde das Instrument als Wage unbrauchbar sein, denn die erste Bedingung, daß der Balken schon von selbst sich in die horizontale Lage einstellen soll, wäre nicht erfüllt; er befände sich dann im indifferenten Gleichgewicht und würde also bei jeder beliebigen Stellung, die man ihm gäbe, im Ruhestande sein. Dasselbe wäre natürlich auch der Fall, wenn er Schalen so wie in diesen noch gleiche Gewichte zu tragen hätte; ein Uebergewicht auf einer Seite würde ihn dagegen ganz in die senkrechte Lage bringen. Um daher eine brauchbare Wage zu haben, muß das Eigengewicht des Balkens mit ins Spiel gezogen werden und dies geschieht, indem der Aufhängepunkt etwas über dem Schwerpunkt der Wage angebracht wird. Da der Schwerpunkt immer die tiefste Lage einzunehmen strebt, so ergiebt sich dadurch das Einstellen des Balkens in die Horizontale von selbst. Dagegen muß aber die Beweglichkeit des Balkens um so geringer werden, je tiefer sein Schwerpunkt unter dem Aufhängepunkte liegt, und daraus folgt die Regel, daß eine Wage dann am empfindlichsten ist, wenn der Schwerpunkt möglichst nahe unter dem Drehungspunkte liegt.

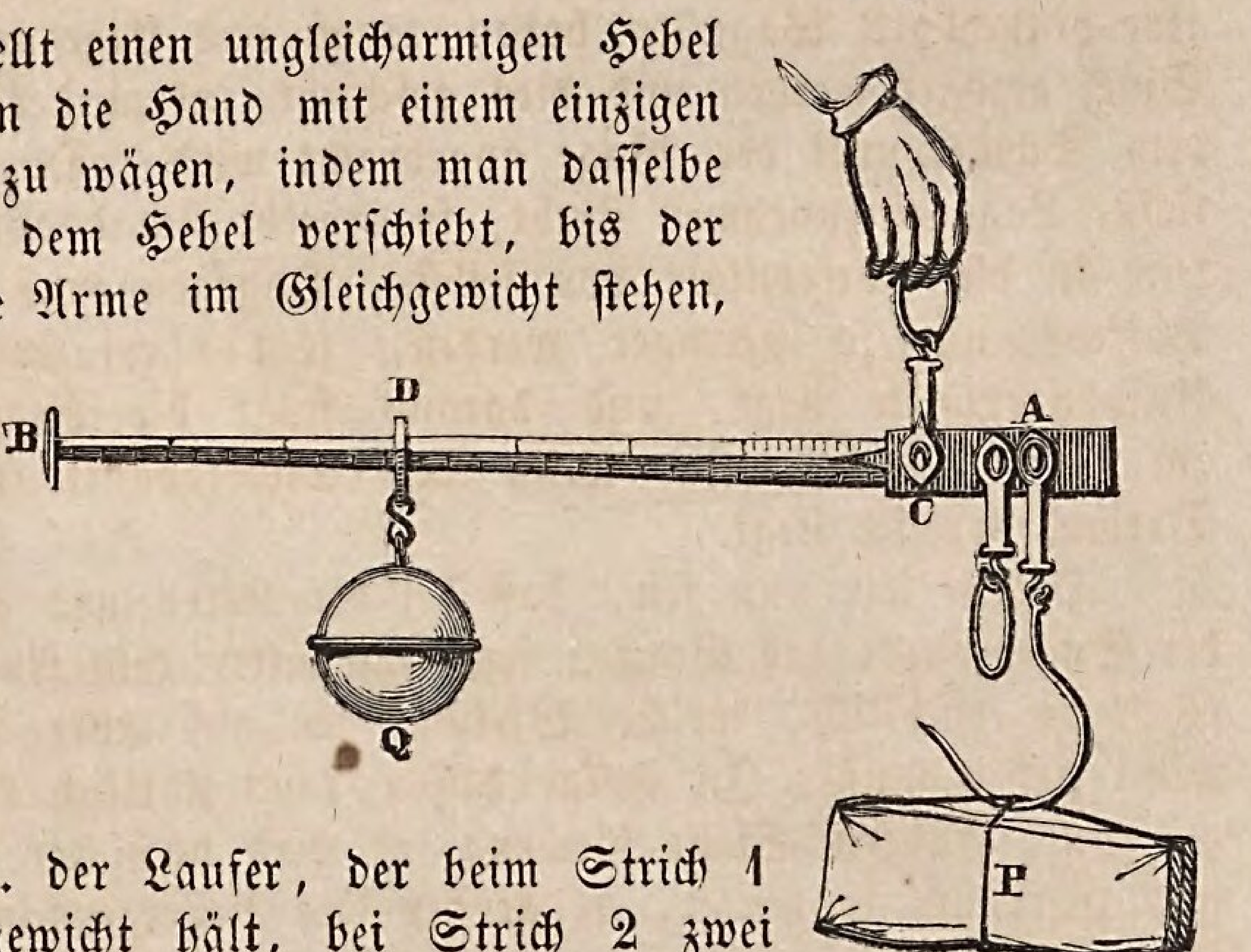
Halten wir nun fest, daß bei der leeren und gleichmäßig belasteten Wage der Schwerpunkt des Ganzen senkrecht unter dem Aufhängepunkte liegt, so wird es leicht ersichtlich, welche Wirkung ein auf einer Seite angebrachtes Uebergewicht haben muß. In Folge dessen kann nämlich der Schwerpunkt nicht mehr an seiner frühern Stelle bleiben; er wird nach der belasteten Seite hin verlegt und zwar um so weiter, je größer das Uebergewicht ist. Dieser neue gemeinschaftliche Schwerpunkt sucht nun seinerseits ebenfalls die Lage senkrecht unter dem Aufhängepunkte einzunehmen und die Folge davon ist eine Drehung des Balkens so weit, bis diese Lage erreicht und nun auf beiden Seiten das Gleich-

gewicht wieder hergestellt ist. Je größer das Uebergewicht war, einen desto weiteren Fallraum hatte der Schwerpunkt zu durchlaufen, und desto größer und geschwinder war daher der Ausschlag.

Eine Wage ist ferner um so empfindlicher, je länger und je leichter zugleich ihr Balken ist. Da ein einzelner Stab unter solchen Umständen leicht biegsam und dann unbrauchbar werden würde, so giebt man ihm meist mehr Ausdehnung nach oben und unten, so daß er schienenförmig wird, oder setzt ihn in diesem Sinne aus mehreren Stücken zusammen, wo er dann als eine einzelne verschiedentlich durchbrochene Schiene angesehen werden kann.

Bei Wagen, wo es sich um große Genauigkeit handelt, hat man verschiedene besondere Vorrichtungen angebracht, die wir hier übergehen. Ein Hauptserforderniß ist möglichst verminderte Reibung im Aufhängepunkte. Dies sucht man gewöhnlich dadurch zu erreichen, daß man dem Zapfen unten die Form einer scharfen Kante giebt, mit welcher er auf den glatt polirten Lagern aufliegt. Uebrigens läßt sich durch die sog. doppelte Wägung auch auf einer unrichtigen Wage richtig wägen. Man legt den zu wägenden Gegenstand in die eine Schale und giebt in die andere so lange Sand, Schrot oder dergl., bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Nun nimmt man den Gegenstand weg und legt an seine Stelle Gewichte, bis abermals Gleichgewicht eintritt. Augenscheinlich muß nun das aufgelegte Gewicht mit dem des Gegenstandes einerlei sein, die Wage mag richtig sein oder nicht. Man kann nun den eingeschütteten Ballast entfernen und an seine Stelle den gewogenen Gegenstand den Gewichten gegenüber einlegen. Findet unter diesen Umständen Gleichgewicht statt, so ist die Wage richtig, vorausgesetzt daß sie sich auch im unbelasteten Zustande richtig einstellt.

Fig. 39.



Die Schnellwage stellt einen ungleicharmigen Hebel dar, und giebt die Mittel an die Hand mit einem einzigen Gewicht verschiedene Lasten zu wägen, indem man dasselbe (den Laufer) so lange auf dem Hebel verschiebt, bis der Punkt gefunden ist, wo die Arme im Gleichgewicht stehen, wie sie natürlich auch stehen müssen, wenn die Schale leer und das Laufgewicht entfernt ist. Der Wagbalken ist mit Theilstrichen und Ziffern versehen. Nach dem Vorausgegangenen bedarf es nun keiner weiteren Erklärung mehr, warum z. B. der Laufer, der beim Strich 1 einem Pfunde das Gleichgewicht hält, bei Strich 2 zwei Pfunde balancirt u. s. w.

Eine Abänderung der Schnellwage ist die sog. dänische Wage, bei welcher nicht das Gegengewicht, sondern der Stützpunkt der beiden Hebelarme verschieb-

bar ist. Der Balken ruht zu diesem Zwecke in einem Ringe, in welchem er sich schieben läßt. Das kurze dicke Ende bildet das Gegengewicht des zu wägenden Körpers, der gegenüber an einem Haken aufgehangen wird. Je leichter der Gegenstand ist, ein desto größerer Theil des Balkens muß natürlich nach seiner Aufhängestelle zu durch den Ring geschoben werden; das Gewicht wird dann so wie bei der vorigen Art abgelesen. Die Schnellwagen sind zum feinern Wägen nicht geeignet, sondern nur da brauchbar, wo eine ungefähre Gewichtsermittelung genügt.

Sehr lange Hebel würden, wie schon beispielsweise bei der Schnellwage ersichtlich, oft große Unbequemlichkeiten hinsichtlich des Raumes u. s. w. mit sich führen; diese lassen sich aber durch zusammengesetzte Hebel vermeiden. Solche Hebelverbindungen kommen in der Mechanik häufig und in mannichfachen Formen in Anwendung, und wir werden ihnen noch öfter begegnen; es möge daher hier vorläufig ein einfaches Beispiel eines solchen gegeben werden. Gesetzt die drei hier dargestellten ineinandergreifenden Hebel seien jeder 12 Zoll lang und hätten ihre Stützpunkte immer in 3 Zoll Entfernung von dem einen Ende. Es wäre nun die Frage, mit wie viel Kraft ein Pfundgewicht, an dem einen Ende rechts aufgesetzt, auf das entgegengesetzte Ende wirken wird. Da 9 Zoll das Dreifache von 3 Zoll ist, so wird das eine Pfund am Ende des ersten Hebels einem Dreipfundgewicht die Wage halten; da aber dieses Verhältniß sich noch zweimal, nämlich am zweiten und dritten Hebel wiederholt, so ist die Gesammtwirkung am letzten Ende $3 \times 3 \times 3 = 27$ Pfund, d. h. eine Last von 1 Pfund hält hier einer von 27 Pfund das Gleichgewicht. Hebelverbindungen dieser Art sind bei solchen Vorrichtungen thätig, welche dazu dienen, das Gewicht ganzer beladener Fuhrwerke annähernd zu bestimmen.

Fig. 40.

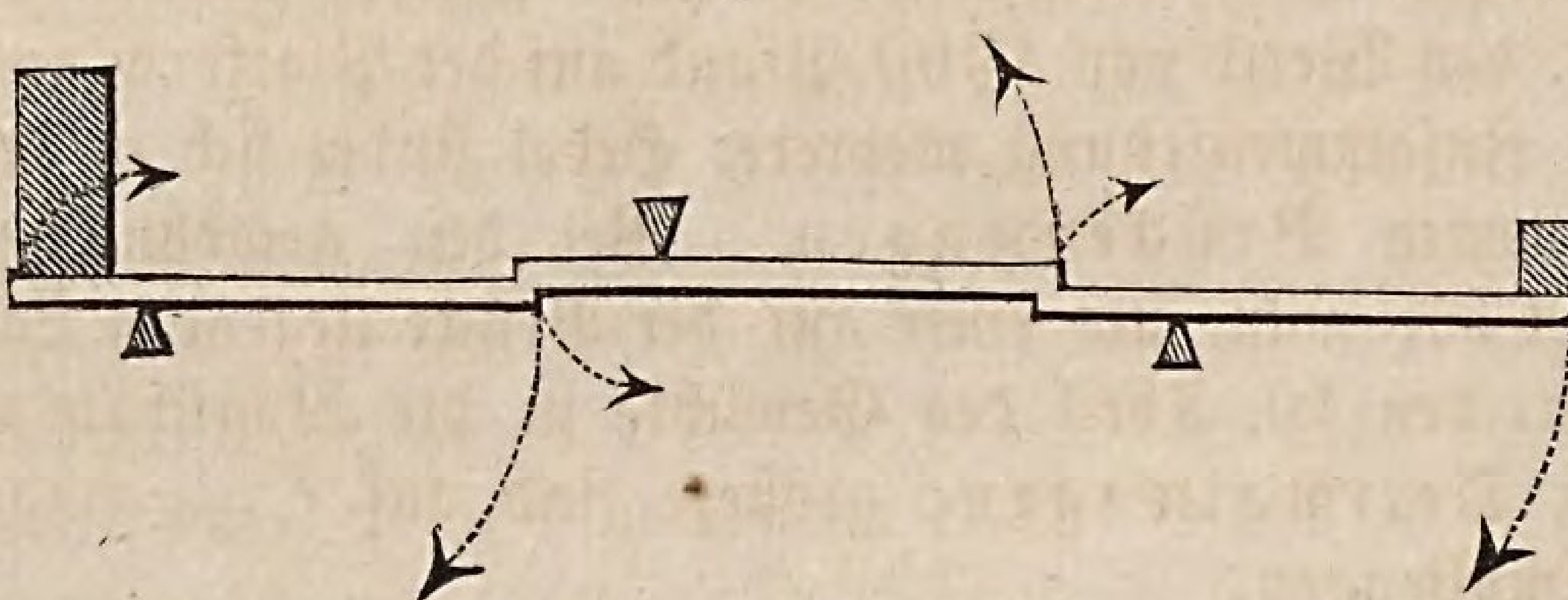
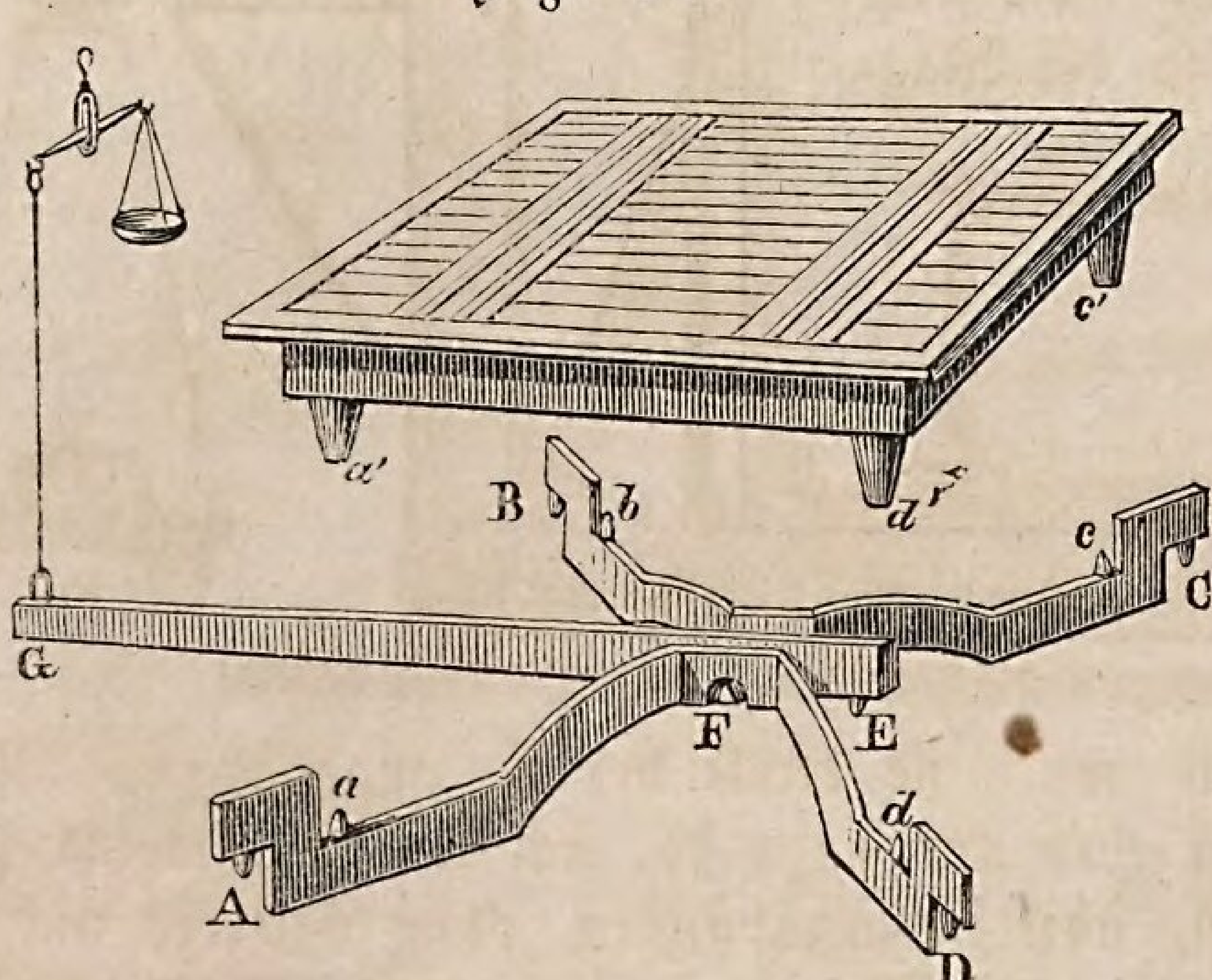


Fig. 41.



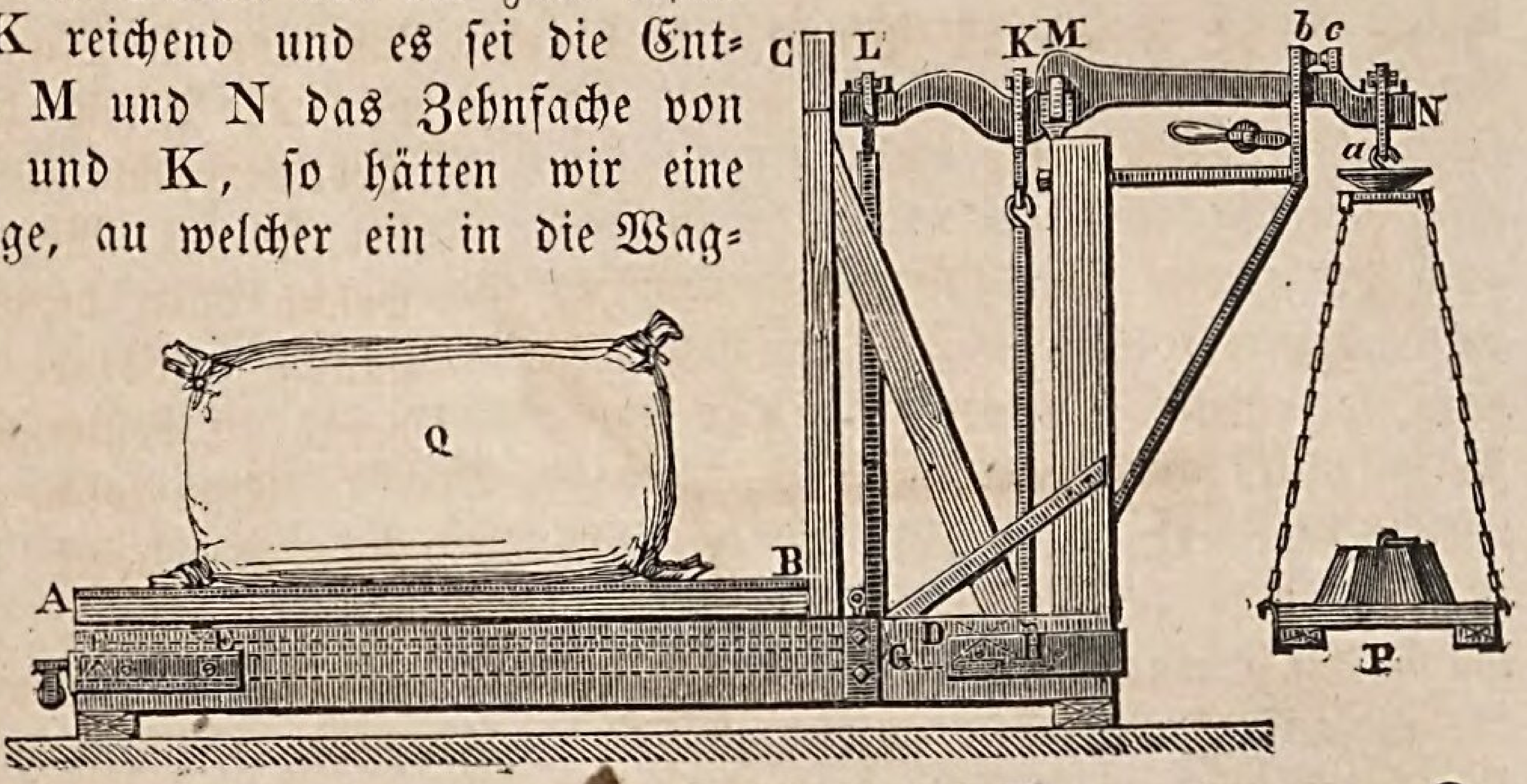
Eine solche ist hier abgebildet. Das Hebelwerk desselben liegt in einer Erdgrube, und trägt eine hölzerne Platform, die in gleicher Ebene mit der Fahrstraße, doch so liegt, daß sie die Ränder der Grube nicht berührt, sondern sich frei senken kann. Sie liegt auf den vier Hebeln A F, B F, C F, D F, indem ihre hohlen Füße a' b' c' d' über den stählernen Zapfen a b c d stehen. Die Hebel haben ihren Stützpunkt in den vier Ecken bei A, B, C, D, und

laufen alle nach der Mitte hin. Hier werden sie im Punkte F von einem langen Hebel G E getragen, der selbst seinen Stützpunkt bei E hat und von dessen anderem Ende eine Stange aufwärts geführt ist, die wieder auf einen Wagbalken wirkt. Letzterer ist entweder wie eine Krämerwage oder wie eine Schnellwage eingerichtet. Aus der Größe des Gewichts, das der Last auf der Platform das Gleichgewicht hält, ergiebt sich natürlich das Gewicht der letzteren. Da obige 4 Hebel einander völlig gleich sind, so ist die Wirkung der unter sie vertheilten Last ganz dieselbe als wenn die ganze Last auf einem einzigen Hebel ruhte. Es braucht daher bei Betrachtung der Gleichgewichtsbedingungen auch nur einer, vielleicht A F, in's Auge gefaßt zu werden. Gesetzt nun es sei die Entfernung von A zu F 10 mal so groß als von A zu a, wo die Last liegt, so wird eine Kraft von 1 Pfund in F einer Last von 10 Pfund in a oder auf der Platform das Gleichgewicht halten; die Hebellänge von E zu G sei wieder 10 mal größer als die Entfernung zwischen E und dem Stützpunkt F, so wiederholt sich die Multiplication und eine Kraft, welche bei G mit 1 Pfund aufwärts zieht, wird 100 Pfund auf der Platform im Gleichgewicht halten. Mithin drücken 10 Pfund, in die Wagschale gelegt, den Werth von 1000 Pfund auf der Platform aus.

Eine etwas complicirtere Zusammensetzung mehrerer Hebel findet sich in den vielgebrauchten und sehr bequemen Brückenwagen. Bei den gewöhnlichen kleinern Instrumenten dieser Art hat man, um einer auf der Brücke liegenden Last das Gleichgewicht zu halten, nur den 10. Theil des Gewichts in die Wagschale zu legen; sie heißen deshalb auch Decimalwagen; größere sind auf $^1/_{100}$ eingerichtet und sind daher Centesimalwagen.

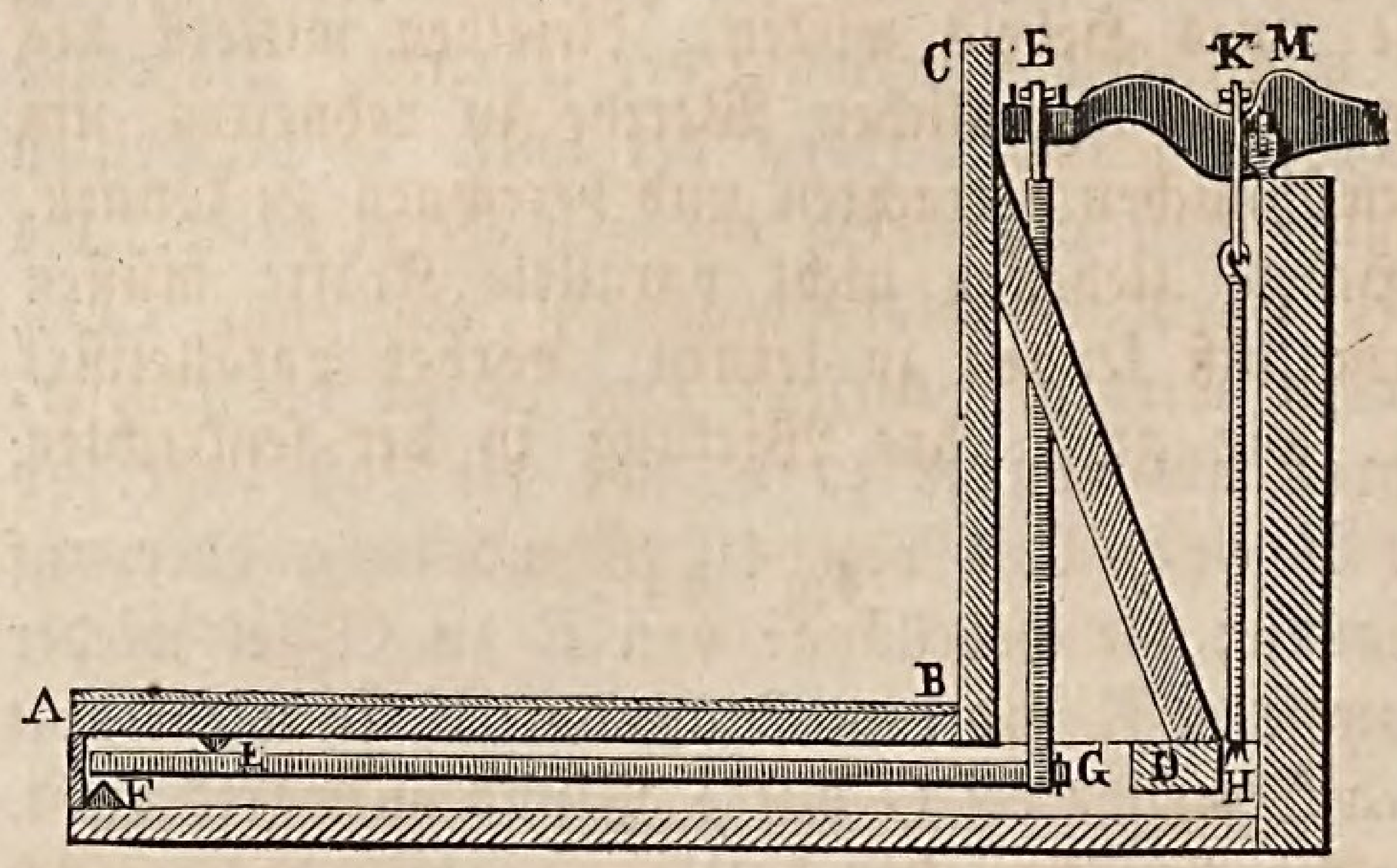
Fig. 42 stellt die Brückenwage vor und Fig. 43 läßt den Mechanismus derselben deutlicher erkennen. Das mehrfach gekrümmte eiserne Querstück L N ist der Wagebalken, dessen Stützpunkt in M ist. Denken wir uns den Balken nur bis zum ersten Anhängepunkte K reichend und es sei die Entfernung zwischen M und N das Zehnfache von der zwischen M und K, so hätten wir eine simple Schnellwage, an welcher ein in die Wagschale gelegtes Gewicht eine 10 mal größere Last markirt. In der That ist nun die Brückenwageder-art eingerichtet daß die Last vermöge der Hebel genau so wirkt als wäre sie direkt bei K angehangen. Der ganze Apparat von K rückwärts ist eben nur dazu da, um ein bequemeres Instrument zu haben, bei dem die Last, statt sie anzuhängen, ohne weiteres auf die Brücke niedergelegt wird, und zwar ohne Rücksicht darauf, an welche Stelle derselben sie zu liegen kommt. In der Abbildung zeigt A B die gewöhnlich mit Blech

Fig. 42.



beschlagene hölzerne Platte, welche die Brücke genannt wird; diese, das aufrechte Stück B C und das schräg herablaufende in D endigende Verbindungsstück bilden ein fest verbundenes Ganze, das bei H an die von K herablaufende Zugstange eingehakt ist. An der entgegengesetzten breiten Seite ruht die Brücke auf einer querüberlaufenden Schneide E. Hätte dieser Stützpunkt E eine feste Unterlage, so würde er natürlich einen großen Theil der auf die Brücke gelegten Last tragen, letztere daher nicht mit ihrer ganzen Schwere auf die Zugstange H K wirken können. So aber ruht die Schneide E ihrerseits wieder auf einem Hebel F G, der bei F seinen Stützpunkt hat, am andern Ende aber durch die Zugstange G L mit dem Wagebalken in Verbindung steht.

Fig. 43.



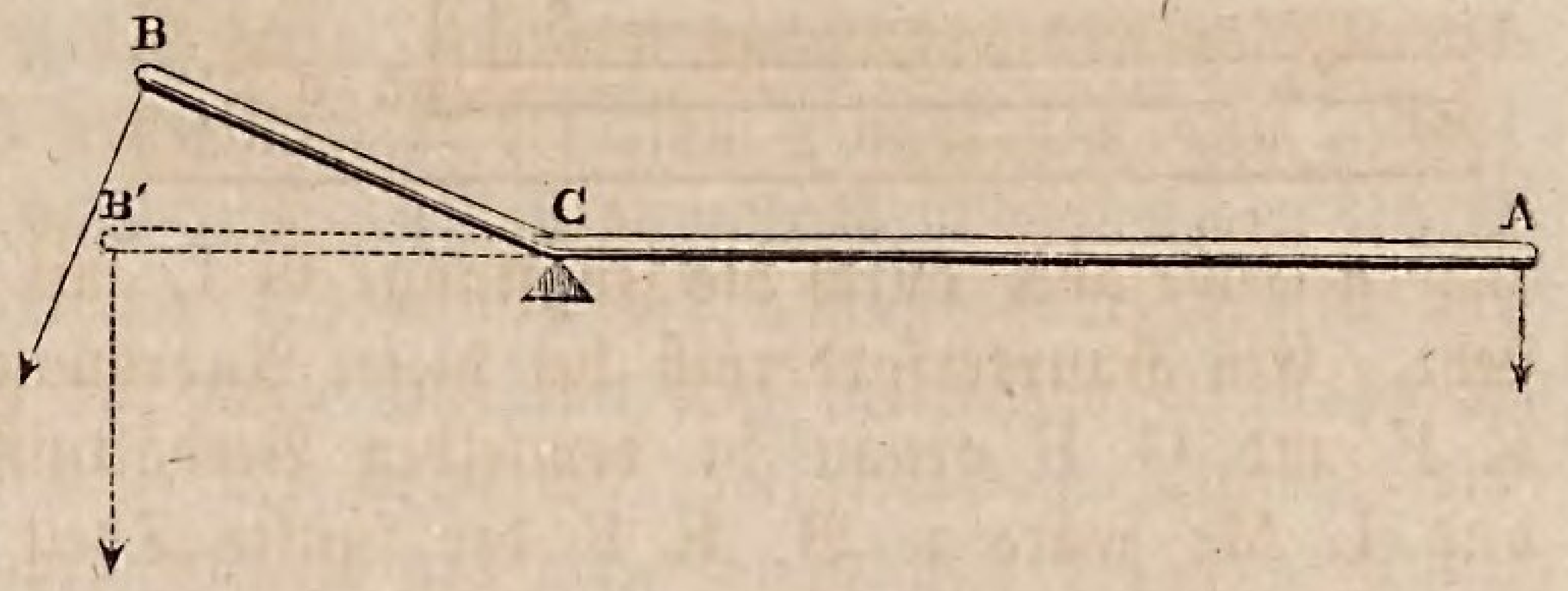
Ein Haupterforderniß bei dieser Anordnung ist nun, daß die Hebellängen E F und G F genau in demselben Verhältniß zu einander stehen wie K M und L M; wäre z. B. E F der fünfte Theil von G F, so muß auch K M das Fünftel von L M sein. Nehmen wir nun an die Wage sei leer und der Wagebalken befände sich mit den übrigen Theilen des Apparates im Gleichgewicht, so daß die Schneiden b c einander genau gegenüberstehen; legen wir jetzt einen Körper auf die Brücke, so vertheilt sich das Gewicht desselben auf die beiden Stützpunkte in E und H, der eine Theil der Last zieht unmittelbar an dem Aufhängepunkte K, der Rest des Gewichtes aber drückt bei C auf den Hebel F G, und dieser wird, den Längen seiner Arme entsprechend, den empfangenen Druck bei G fünfmal verringert wiedergeben; durch die zweite Zugstange pflanzt sich diese Kraft nun nach L fort. Hier zieht sie, wie wir wissen, an einem fünfmal längern Hebel als wenn sie bei K wirkte, und der Effekt muß natürlich ganz derselbe sein als wenn sie fünfmal stärker bei K zöge. Somit gelangt auch der zweite Theil des von dem zu wägenden Körper ausgeübten Druckes auf indirectem Wege bei K zur vollen Geltung; der Punkt K wird, wie gesagt, ganz so afficirt als wenn die Last unmittelbar an ihm aufgehangen wäre. Eine Folge dieser Hebeleinrichtung ist, daß die Brücke sich an allen Punkten gleichmäßig hebt und senkt, wobei sie den 10. Theil des Weges macht, den der Wagebalken bei N beschreibt. Ist die Wage außer Gebrauch, so ist der Wagebalken bei b durch einen Hebel gestützt und so weit gehoben, daß der Rand der Brücke bei A auf das Gestell zu liegen kommt und die Zugstangen gelüftet werden. Hierdurch wird die Last von den Schneiden genommen und diese mithin geschont.

Bisher haben wir Hebel betrachtet, auf welche die Kräfte rechtwinklig wirken; indeß können sie auch schief an denselben ziehen, oder die Hebelarme selbst liegen nicht in einer Linie; im letztern Falle haben wir es dann mit gebrochenen oder Winkelhebeln zu thun, worüber noch das Nothwendigste zu bemerken ist.

Schon weiter oben, wo von der Zerlegung der Kräfte die Rede war, hatten wir ein einfaches Beispiel (Fig. 9) einer schief auf einen Hebel wirkenden Kraft; wir sahen daß unter solchen Umständen Kraft verloren geht und der wirkliche Effect nur so groß ist als die den Hebel rechtwinklig angreifende Seitenkraft. Dies gilt für alle Fälle und man braucht, wenn zwei schräg angreifende Kräfte entgegengesetzt auf die beiden Arme eines Hebels wirken, dieselben mittelst des Parallelogramms der Kräfte nur auf ihre eigentlichen Werthe zu reduciren, um dann den Hebel ganz wie einen gewöhnlichen betrachten und berechnen zu können.

Zwei an den Armen eines Hebels ziehende nicht parallele Kräfte müssen demnach, um ihr gegenseitiges Verhältniß kennen zu lernen, vorher parallelisirt werden, d. h. man muß ermitteln, wie groß ihre Wirkung in der senkrechten Richtung auf den Hebel ist. Liegen die Hebelarme nicht in derselben Linie, sondern stoßen unter irgend einem Winkel im Drehpunkte zusammen, so daß ein Winkelhebel vorliegt, so entsteht zunächst wieder die Frage nach der Richtung, in welcher die Kräfte die Hebelarme angreifen. Der einfachste Fall ist der nebenstehend verzeichnete: die Kräfte sind nicht parallel, aber sie greifen jede an ihrer Stelle senkrecht an, d. h. sie bilden mit ihrem resp. Hebelarm einen rechten Winkel. In diesem Falle kann man den Hebel ohne weiteres als einen gradlinigen behandeln, denn es ist leicht begreiflich, daß wenn man den Hebelarm C B nach C B' verlegte, wodurch die Kraft bei B der bei A parallel würde, nur die Form des Hebels verändert, das Verhältniß der Kräfte dagegen nicht im mindesten ein anderes geworden wäre; die Kraft bei B würde ganz mit derselben Stärke als vorher der Hebel um seine Axe zu drehen streben. Unter der Voraussetzung, daß die Kräfte rechtwinklig auf die Hebelarme wirken, ist es nun, wie man leicht findet, völlig gleichgültig, welche Lage die Hebelarme zu einander haben; sie können statt eines stumpfen eben so gut einen rechten oder einen spitzen Winkel bilden.

Fig. 44.

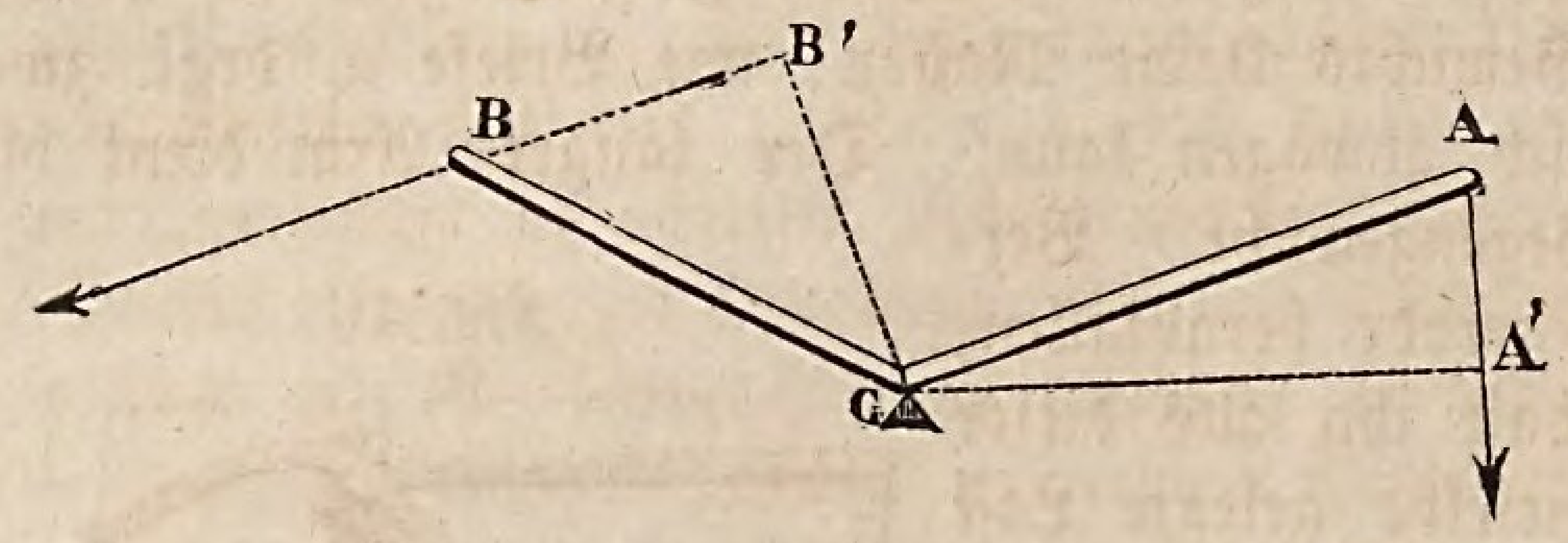


Denkt man sich die Kraft links als ein Gewicht, das bei B an einer Schnur frei aufgehangen ist, so würde letztere natürlich perpendikulär, also hinter B' herabgehen; der Angriff der Kraft auf den Arm B geschähe nun nicht mehr völlig rechtwinklig und es würde demnach etwas Kraft verloren gehen; der wirkliche Effect wäre in diesem Falle derselbe als wenn die Kraft auf einen geraden Hebelarm wirkte, der um das Stück verkürzt wäre, das durch die Schnur abgeschnitten wird.

Wirken die Kräfte nicht senkrecht auf die Arme des Hebels, so läßt sich mit einigen Hülfslinien das Verhältniß derselben eben so leicht ermitteln. Betrachten wir beispielsweise Fig. 45 die Hebelarme A und B mit den unter verschiedenen Winkeln auf sie wirkenden Kräften, so ersehen wir sogleich, daß die Kraft links unter ungünstigern Verhältnissen wirkt als die andere; um aber das Verhältniß derselben aufzufinden, dürfen wir nur die Richtungslinie der auf B

wirkenden Kraft so weit verlängern, daß eine auf ihr senkrechte, d. h. mit ihr einen rechten Winkel bildende Linie auf den Stützpunkt C gezogen werden kann; dasselbe geschieht unmittelbar von der Richtungslinie der zweiten Kraft nach C. Die so erhaltenen beiden Linien B' C und A' C geben uns nun das Bild eines neuen Winkelhebels, an welchem das Verhältniß der eiden Kräfte ganz das nämliche ist wie an dem wirklichen Hebel; waren daher an diesem die Kräfte im Gleichgewicht, so sind sie es auch an einem von der Form, wie sie die gefundenen Linien ergeben: an diesem ziehen aber die Kräfte senkrecht, ganz wie an einem Hebel, dessen beide Arme in einer Linie liegen, und wir können nun die so ermittelten Hebellängen in derselben einfachen Weise wie früher in Rechnung stellen. Der Satz, daß an einem zweiarmigen Hebel im Gleichgewichtsstande die Lasten sich umgekehrt wie die Entfernungen vom Stützpunkte verhalten, gilt natürlich auch für den Winkelhebel, sobald man als die eigentlichen Hebelarme, an deren Enden die Kräfte wirken, die vom Stützpunkt auf die Richtungslinien der Kräfte gezogenen Senkrechten nimmt. Auf den vorliegenden Fall angewendet würde jener Grundsatz daher lauten: An dem Winkelhebel B C A ist Gleichgewicht, wenn die Kräfte sich umgekehrt verhalten wie die Längen B' C und A' C. Es möchte jedoch daran erinnert werden, daß die Hebelgesetze nur am mathematischen Hebel ohne weiteres richtig sind. Jeder physische Hebel besitzt eine Eigenschwere, die in vielen Fällen der Praxis mit in Anschlag gebracht werden muß. Eine durchaus gleichmäßige Eisenstange z. B. in ihrer Mitte auf eine scharfe Kante gelegt, wird sich selbst im Gleichgewicht halten und an beiden Enden aufgehangene gleich große Gewichte werden an diesem Stande der Sache nichts ändern. Wird jedoch die Stange nach einer Seite hin verschoben, entsteht also ein ungleicharmiger Hebel, so muß, wenn sie wieder ins Gleichgewicht kommen soll, an das kurze Ende soviel Gewicht angehangen werden als das Stück Stange von der Mitte bis zu dem neuen Auflagepunkte wiegt, oder mit andern Worten es muß der Kraft, die einer am längern Ende wirkenden Kraft das Gleichgewicht halten soll, soviel zugelegt werden, daß sie auch das Uebergewicht des längeren materiellen Hebels mit überwinden kann. Sehen wir von der Masse eines Hebels ab auf seine Form, so ist es, nachdem wir wissen was das Wesentliche am Hebel ist, einleuchtend, daß diese eine sehr zufällige oder willkürliche sein könne. Die wahren Hebelarme sind unter allen Umständen senkrecht zur Richtung der Kräfte; bei Wagen z. B. liegen sie demnach in der kürzesten Linie zwischen den Aufhängepunkten der Schalen und dem Drehpunkte, alle Ausbeugungen durchschneidend, die der Wagebalken etwa machen könnte. Bei Winkelhebeln fallen die theoretischen Hebelarme oft, wie unser obiges Beispiel zeigt, ganz außerhalb der wirklichen und es ist hierbei die Form der letzteren ganz gleichgültig; so vielfach gekrümmt sie sein mögen,

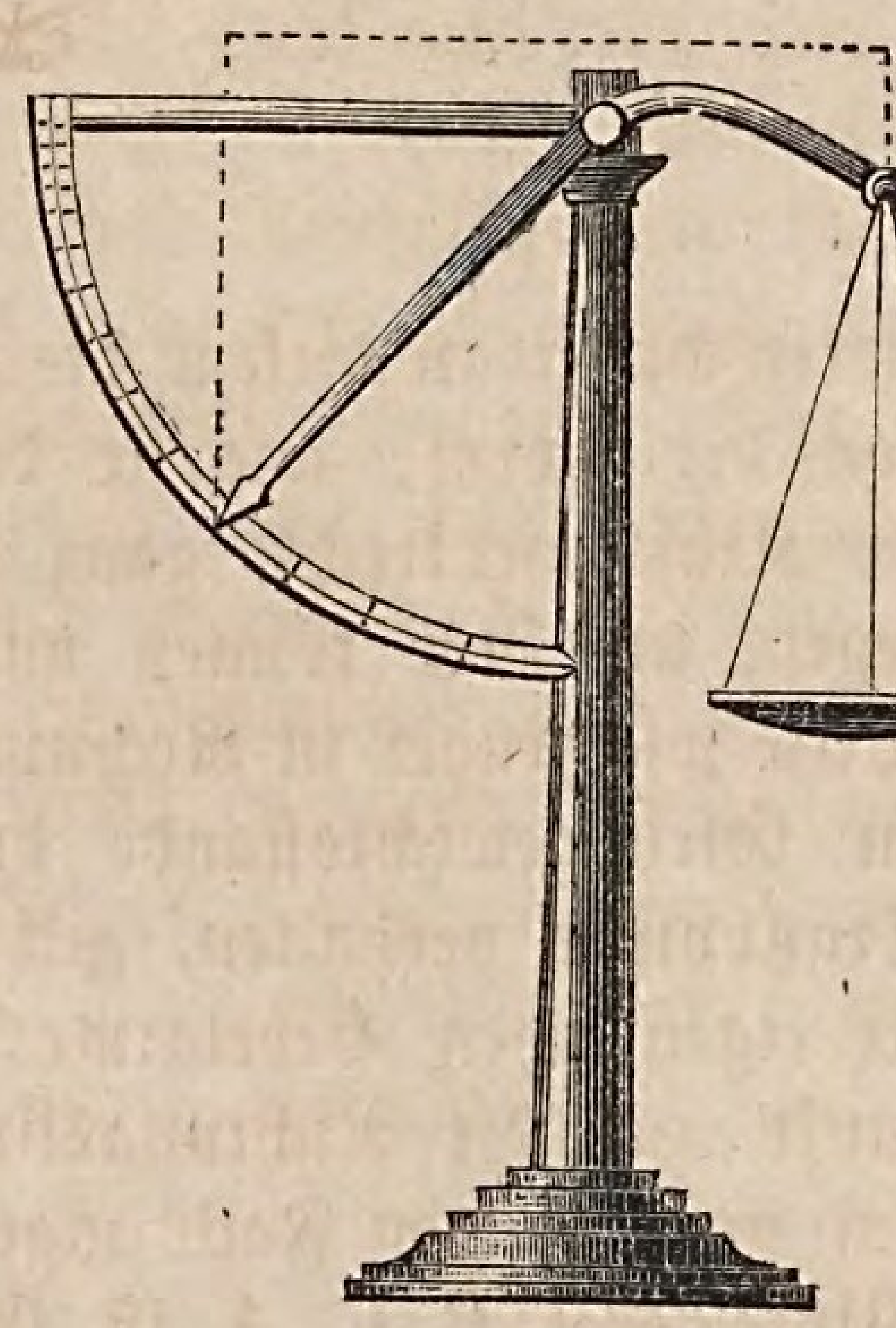
Fig. 45.



so müssen sie doch stets den Drehpunkt und den Angriffspunkt erkennen lassen, und aus diesen und den Richtungslinien der Kräfte läßt sich ohne Schwierigkeit das zu Grunde liegende Verhältniß ermitteln.

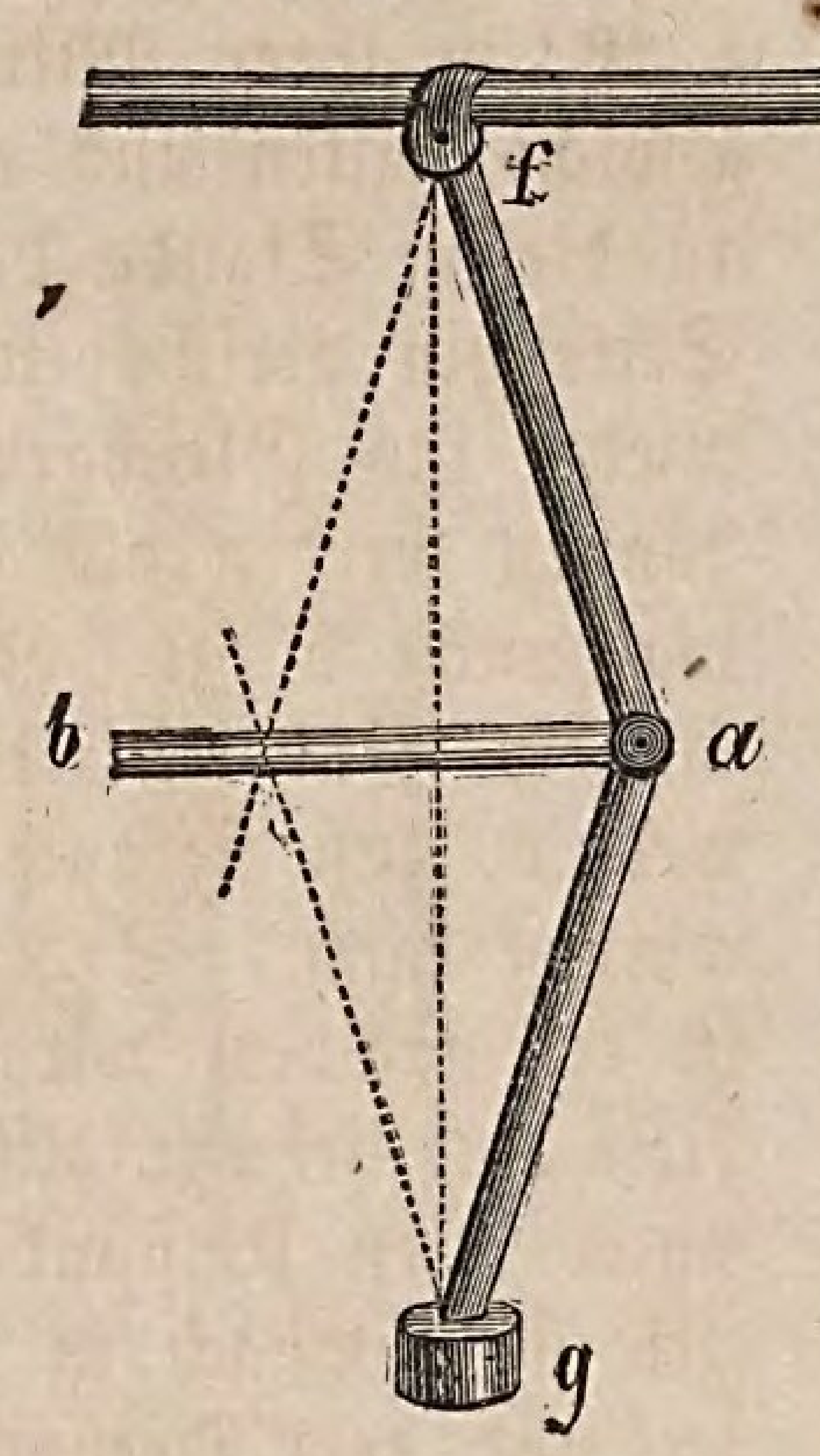
Ein einfaches Beispiel gekrümmter Hebel geben die Zeigerwagen, an welchen man ohne Anwendung eines Gewichts kleine Massen, wie Briefe u. drgl. zwar nicht sehr scharf, aber sehr rasch abwägen kann. Der längere Arm dient hier als Zeiger und zugleich als Gegengewicht. Vermöge seiner Schwere würde er gerade herabfallen, wenn nicht die angehängte Schale ihn aus dieser Lage verdrängte. Eine in dieselbe gelegte Last wird ihn noch weiter nach oben treiben, und die Größe derselben kann dann an der Scala abgelesen werden, die durch Berechnung oder auch durch bloßes Probiren bestimmt sein kann. Nahe am Ende des Zeigers befindet sich gewöhnlich ein Knopf oder sonst eine Massenvermehrung, damit der Schwerpunkt dieses Hebels genügend weit vom Drehpunkte abstehe, und dadurch seine Bewegung stetiger werde. Nach dem Vorhergegangenen bedarf es nun keiner Ausführung weiter, daß hier nicht die wirklichen Längen der beiden Hebel, sondern nur die Längen der vom Drehpunkte auf die beiden Richtungslinien gezogenen Senkrechten maßgebend sind.

Fig. 46.



Von dem Winkelhebel verschieden ist der Kniehebel, eine Zusammensetzung zweier Hebel, welche an gewissen Buchdruck- und Prägepressen angewandt wird und sehr geeignet ist auf kurze Entfernungen einen äußerst starken Druck auszuüben. Zwei Metallstangen a f und a g sind bei a durch ein Gelenk verbunden und ein zweites Gelenk befindet sich bei f, wo das System sich gegen ein festes Widerlager stemmt, während es bei g auf den zu pressenden Gegenstand wirkt. Zieht eine Kraft bei b, bis beide Stücke des Knies eine gerade Linie bilden, so muß nothwendig das Ende g um den Längenunterschied zwischen der großen Diagonale und den beiden Seiten f a g fortgerückt sein und wird auf diesem Wege eine um so größere Kraft ausüben, als auch das Zugstück b schon durch einen horizontalen ungleicharmigen Hebel in Bewegung gesetzt wird.

Fig. 47.



Das Knie ist eine Anwendung des Parallelogramms und der Gewinn an Kraft wird hierbei gefunden, wenn man die Figur zieht und die kleine Diagonale derselben mit zwei ihrer Seiten, also mit der Länge der beiden Hebel vergleicht. So viel mal die erste Länge in der zweiten enthalten ist, so viel mal multiplicirt sich die angewendete

Kraft. Vergleicht man die halbe kleine Diagonale mit einer Seite, so erhält man auf einfachere Weise dasselbe Resultat. Dieses Verhältniß, so wie auch die Richtung der Kraft ändert sich indeß einigermaßen während des Zuges, indem das Parallelogramm allmälig ein anderes wird. Je stumpfer der Winkel f a g wird oder jemehr sich die Hebel der geraden Linie nähern, desto größer wird die Kraftäußerung.

Der Hebel kann seiner Natur nach nicht stetig wirkend sein, sondern gestattet nur kurze, unterbrochene Kraftäußerungen. Ist mit Hülfe des Hebels eine Last auf eine kurze Strecke gehoben, so muß, wie wir dies an der Hebelade deutlich sahen, der Hebel erst seine Stellung zu ihr wieder verändern, und die Last muß während dem durch eine andere Stütze getragen werden. Aus diesem Grunde wendet man die gewöhnlichen Hebel nur da an, wo eine große Last durch eine verhältnißmäßig kleine Kraft auf eine kurze Strecke bewegt werden soll. Bei weitem vielseitiger ist der Nutzen des Hebels, wenn man ihn, statt eines kantigen Stützpunkts, um einen Zapfen drehbar macht, um welchen er ganz herumgeführt werden kann; hierdurch wird seine Wirkung eine stetige. Das einfachste Beispiel eines solchen Hebels giebt die Kurbel; vermehrt man die Zahl der Hebelarme, so erhält man Systeme wie den Haspel, Göpel, die Erdwinde u. s. w., und werden endlich die Enden der einzelnen um einen Centralpunkt drehbaren Hebel unter sich in feste Verbindung gebracht, so erhält man Räder. Ein Rad, sei es aus Speichen und einem Kranze zusammengesetzt oder bestehe es aus einem einzigen Stück, kann als die Vereinigung einer beliebig großen Anzahl von Hebeln, oder als ein continuirlicher Hebel angesehen werden. Ueberhaupt wirken bei jedem System, das um eine feste Axe drehbar ist, die drehenden Kräfte stets nach den Gesetzen des Hebels.

Als Repräsentant des continuirlichen Hebels ist das Rad an der Welle oder das Wellrad den einfachen Maschinen beigezählt worden. Es besteht in

Fig. 48.

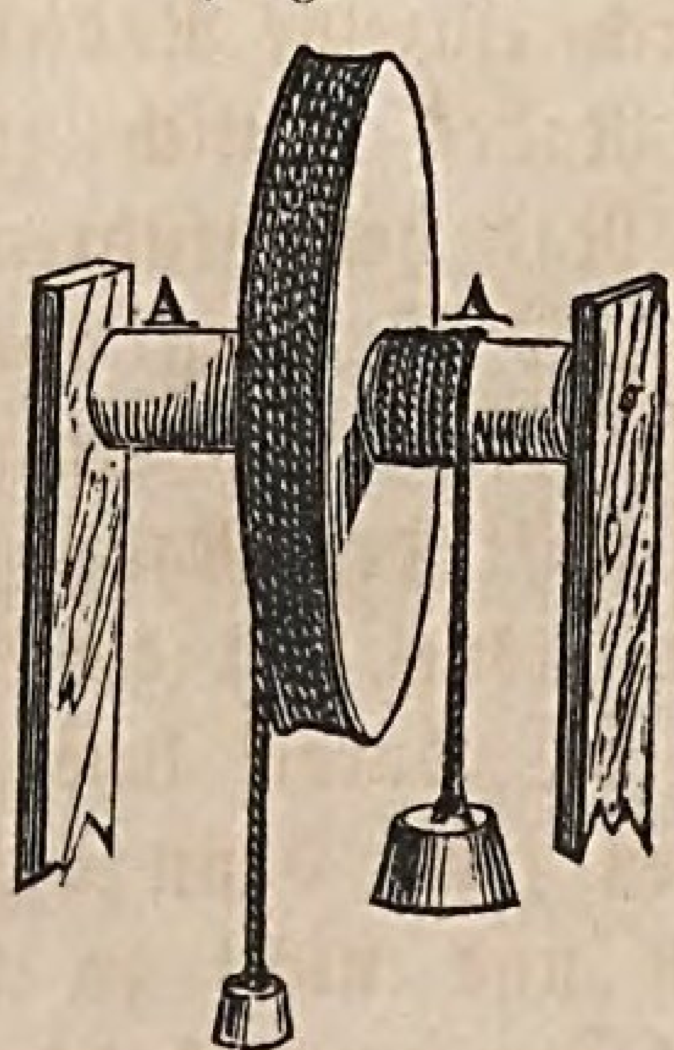
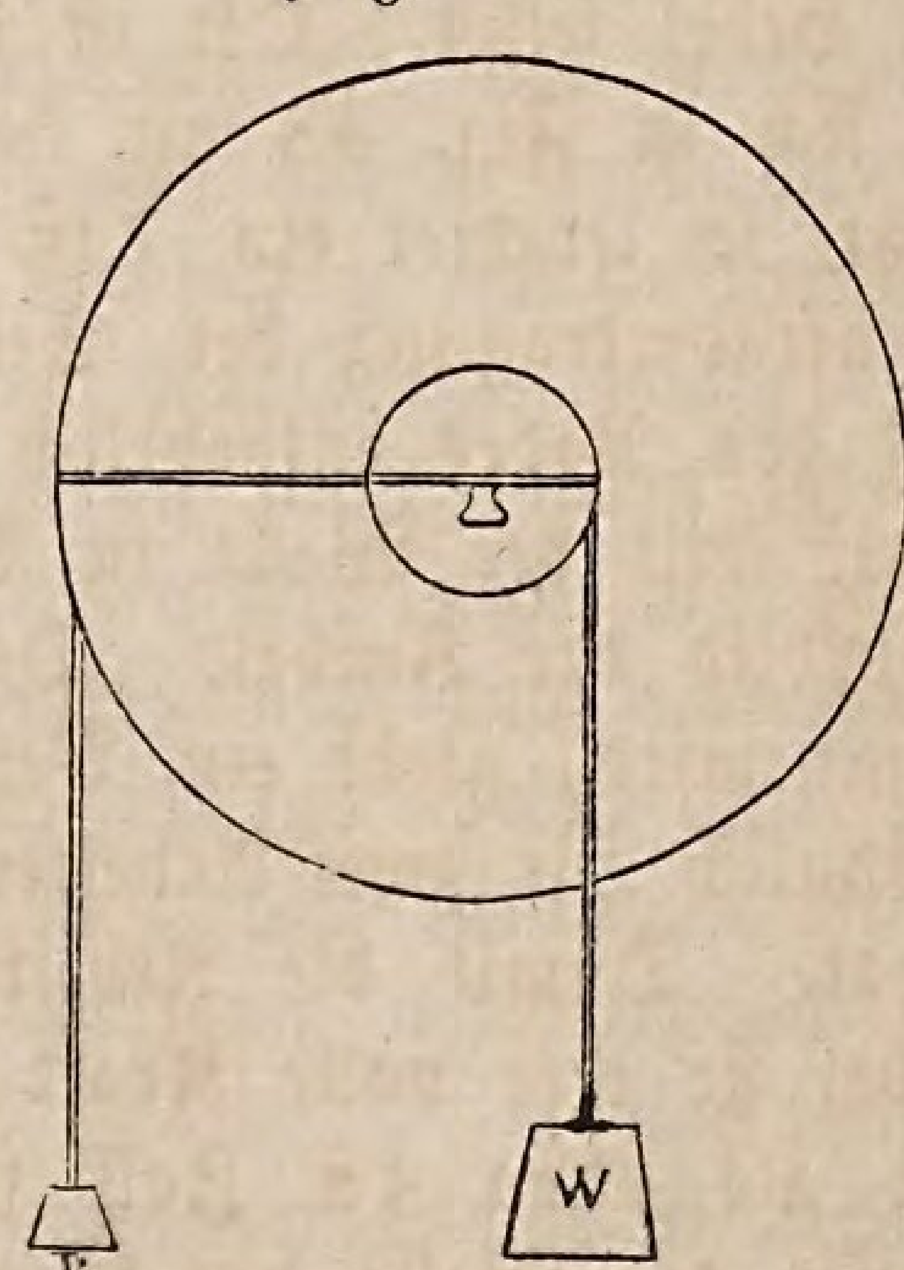


Fig. 49.



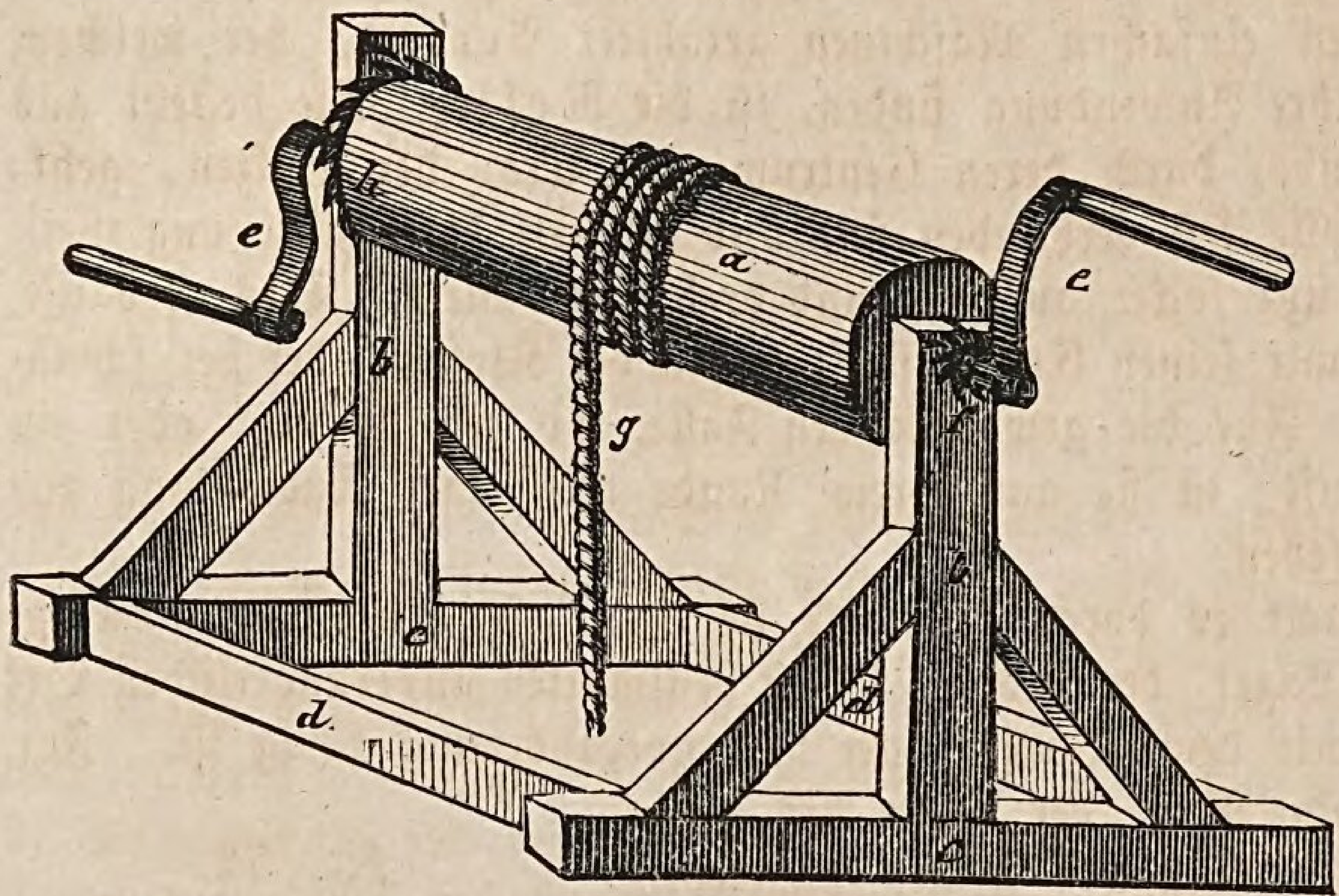
seiner einfachsten Form aus einem auf einer Welle festsitzenden Rade, so daß sich beide Stücke mit einander um ihre gemeinschaftliche Axe drehen. Gewöhnlich wirkt nun die bewegende Kraft am Rade, die zu überwindende Last an der

Welle, doch kann das Umgekehrte eben so gut stattfinden. Die Last wird in der Regel mit der Welle durch ein Seil oder dgl. verbunden sein, das sich um dieselbe auf- oder abwickelt; die auf den Umfang des Rades wirkende Kraft kann ebenfalls durch ein laufendes Seil oder auf manche andere Weise übertragen werden. Ist nun die Kraft groß genug das Rad zu drehen, so ist augenfällig, daß die Last gehoben werden wird. Es wirken demnach auch hier, wie beim Hebel, zwei entgegengesetzte Kräfte aufeinander, und daß dies ganz nach den Gesetzen des Hebels stattfindet, ist aus Fig. 49 zu ersehen. Es ziehe das kleinere Gewicht P am Umfange des Rades, das größere W am Umfange der Welle; ist nun z. B. die Entfernung vom Umfange des Rades bis zum Centrum der Welle 8 Zoll, von da bis zum Umfange der Welle 1 Zoll, so wird Gleichgewicht am Rade stattfinden, sobald sich das kleinere Gewicht zum größern wie 1 zu 8 verhält. Ganz dasselbe Verhältniß findet aber, wie wir wissen, auch am zweiarmigen Hebel statt; das Gleichgewicht würde fortbestehen, wenn man von Rad und Welle ganz abstrahirte und nur den eingezeichneten Hebel stehen ließe, der seinen Drehpunkt genau im Centrum der Welle hat. Das Wellrad bildet demnach einen ungleicharmigen Hebel, dessen kürzerer Arm dem Halbmesser der Welle, dessen längerer dem Halbmesser des Rades gleich ist. Nach dem Principe des Hebels muß demnach die Kraft des Wellrades um so größer sein, je kleiner der Durchmesser der Welle und je größer der des Rades ist. In der Praxis freilich findet diese Vergrößerung und Verkleinerung in der geringern Haltbarkeit und der unbequemen Handhabung bald ihre natürlichen Grenzen. Nach dem was wir über die Geschwindigkeiten zweier ungleichen Hebelarme wissen, bedarf es kaum noch der Hindeutung, daß mittelst eines großen Wellrades mit schwacher Welle zwar verhältnißmäßig größere Lasten, aber freilich auch um so langsamer gehoben werden können, daß man somit an Zeit verliert, was man an Kraft gewinnt.

Das Rad an der Welle kommt so häufig und in so mancherlei Formen vor wie der Hebel selbst. Oft ist das Rad nur durch einzelne Radien vertreten. Denkt man sich in Fig. 48 an dem Umfange des Rades seitlich einen Handgriff angesetzt, so leuchtet ein, daß man damit das Rad herumführen kann und also zur Kraftübertragung der Seile nicht bedarf. Es ist dann aber auch der größte Theil des Rades entbehrlich und es genügt ein schmales Stück desselben, das den Griff mit der Welle in Verbindung setzt; statt des Rades hätten wir nun das Vorbild der Kurbel. Der Haspel (Hornhaspel, da die Kurbel auch Horn genannt wird) giebt ein Beispiel einer durch die Kurbel bewegten Welle. Er ist gewöhnlich für zwei Arbeiter eingerichtet, deren jeder dann die halbe Last zu heben hat. Damit die Arbeiter nicht zu hoch und nicht zu tief greifen müssen, wobei sie ihre volle Kraft nicht anwenden könnten, darf der Kurbelarm nicht länger als etwa 18 Zoll sein. Diese Länge bildet somit den großen, der Halbmesser der Welle den kleinen Hebelarm. Um eine Rückwirkung der Last zu verhüten, ist entweder an dem einen Zapfen, oder besser an einer Seite der Welle selbst ein Sperrrad mit Sperrhaken angebracht. Beim Heraufwinden aus großen Tiefen bildet das Seil einen merklichen Theil der Last, und bei der all-

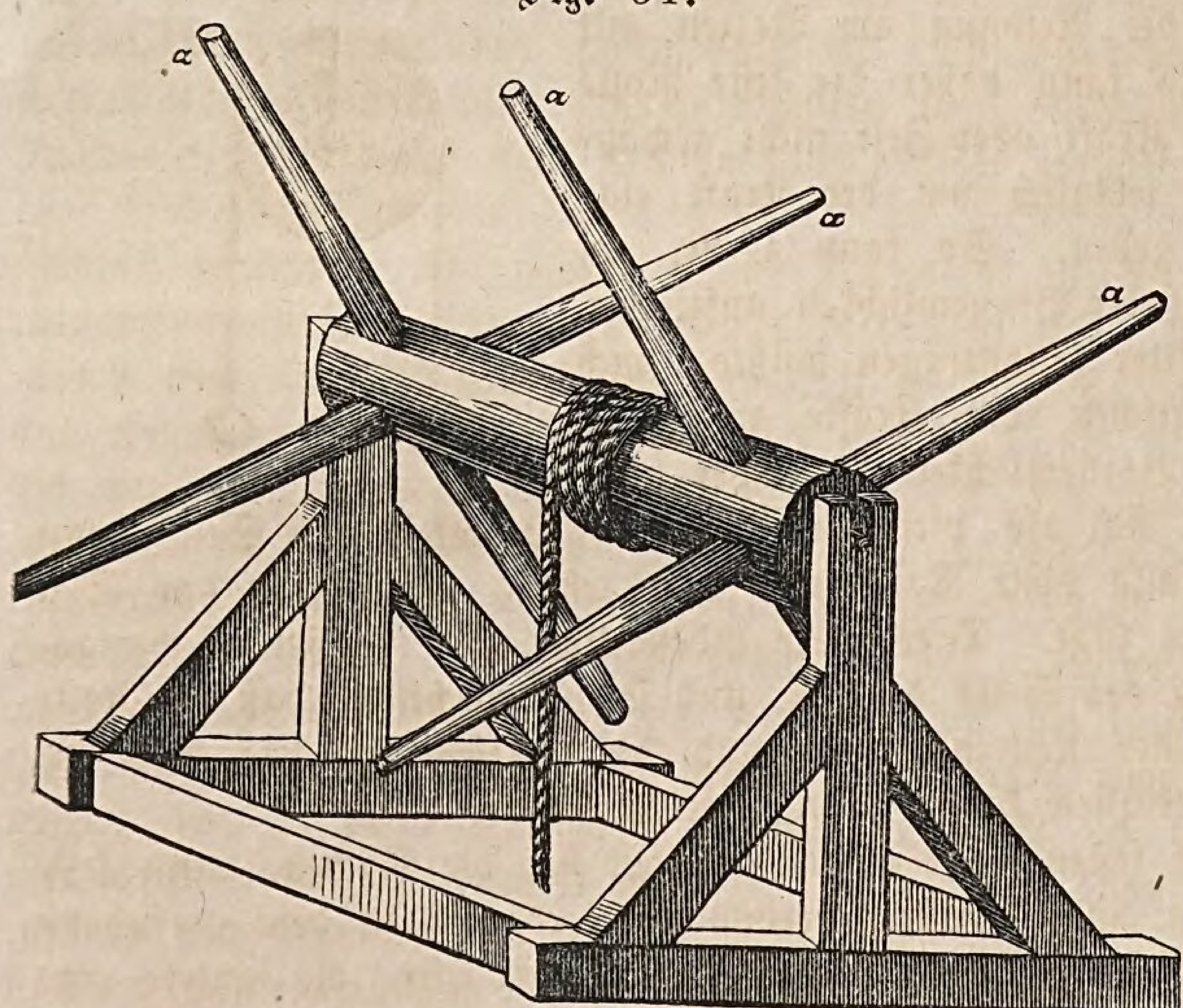
mäligen Aufwickelung wird daher die Last kleiner, die Arbeit leichter; windet sich aber das Seil in einer oder mehreren Lagen übereinander, so findet das Gegentheil statt, und es muß, je höher die Last gehoben wird, desto mehr Kraft angewendet werden. In diesem Falle nämlich wirkt jede Lage von Windungen so, als ob die Welle selbst um eine Seildicke verstärkt wäre; der Halbmesser der Welle, also der kürzere Hebel wird somit künstlich verlängert, während der des Rades gleichbleibt; daher das Erforderniß einer Kraftvermehrung, welche natürlich auch ein rascheres Heben der Last zur Folge hat.

Fig. 50.



Der Kreuzhaspel ist von dem Hornhaspel nur dadurch unterschieden, daß die Welle durch 4 übers Kreuz eingesteckte Hebel in Bewegung gesetzt wird. Die Berechnung der Kraft ist wie beim Hornhaspel, wenn statt der Kurbellänge die Länge der Hebel vom Angriffspunkte bis zur Mitte der Welle gesetzt wird. Vorrichtungen mit aufrecht stehender Welle, wie Pferdegöpel, Erdwinde u. s. w. beruhen ganz ebenso auf den Principien des Hebels.

Fig. 51.



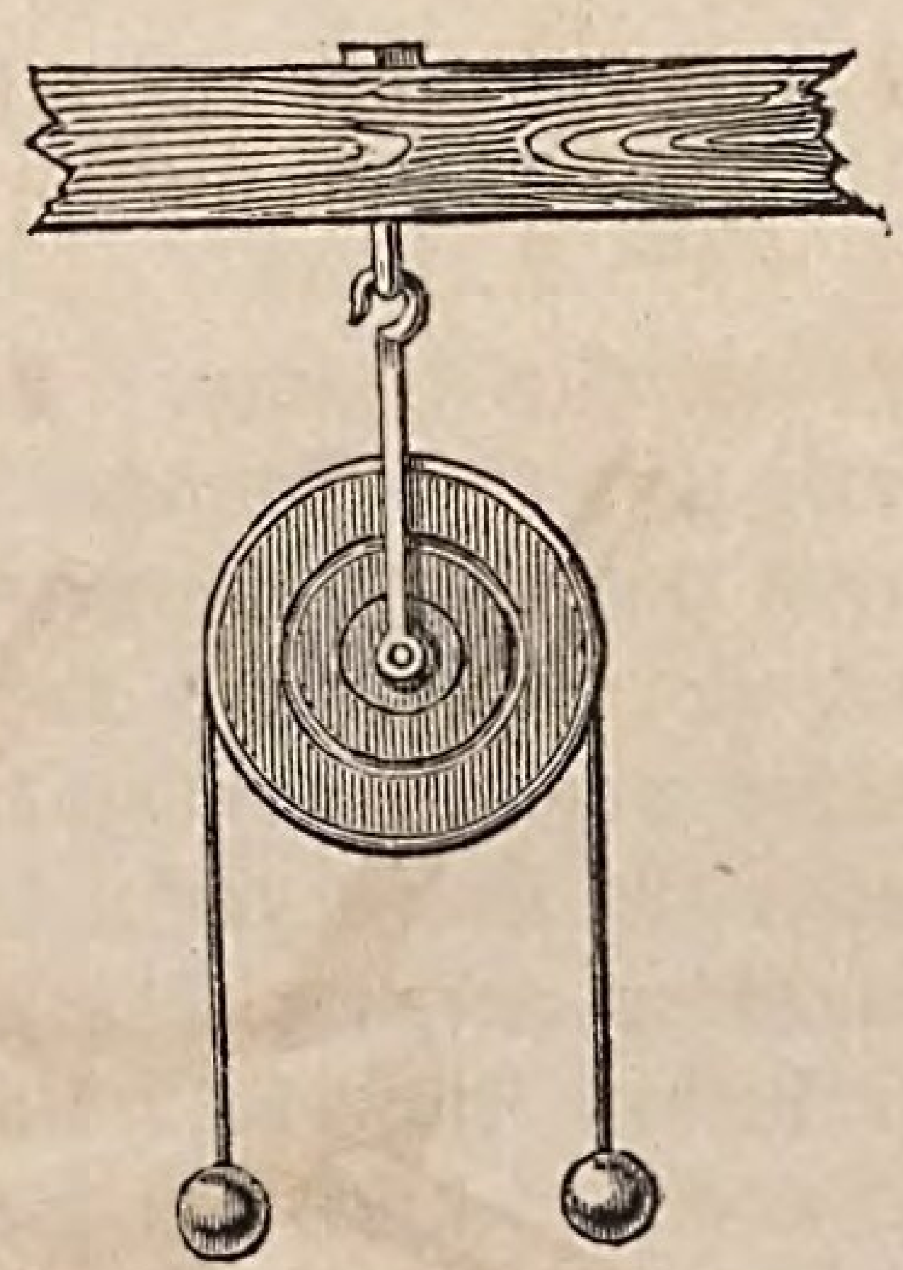
Gilt es eine so große Kraft zu erzeugen, daß dies durch ein einzelnes Wellrad nicht mehr ausführbar wäre, so kann man zwei oder mehrere Räder derart verbinden, daß das erste auf die Welle des zweiten wirkt u. s. f. Solche Systeme, von denen später noch die Rede sein wird, heißen

Räderwerke; sie stehen zum einfachen Wellrad genau in demselben Verhältniß wie die verschiedentlich zusammengesetzten Hebelverbindungen zum einfachen Hebel, bilden also mit andern Worten continuirliche zusammengesetzte Hebel.

Ein anderer zu den einfachen Maschinen gezählter Apparat, bei welchem die Gesetze des Hebels ihre Anwendung finden, ist die Rolle. Sie besteht aus einer kreisförmigen Scheibe, durch deren Centrum eine Axe, der Bolzen, geht; letzterer kann mit der Rolle fest verbunden sein und also an der Umdrehung theilnehmen, oder die Rolle sitzt locker auf ihm und dreht sich allein. Das Gehäuse, in welchem der Bolzen mit seinen Enden steckt, heißt der Kloben oder bei schmälerem Bau die Scheere. Für die gewöhnlichern Fälle, wo eine Schnur oder ein Seil über die Rolle läuft, ist sie auf ihrem Rande mit einer Auskehlung zur Aufnahme derselben versehen.

Bei der Rolle kommt es darauf an, ob sie eine feste oder eine bewegliche ist, d. h. ob ihr Lager, der Kloben seinen bestimmten unveränderlichen Ort hat oder ob die Rolle mit dem Kloben einer Raumveränderung fähig ist. Fig. 52 ist, wie man sieht, eine Rolle der ersten Art. Sie kann als ein Hebel mit gleichlangen Armen angesehen werden; soll sie daher zur Bewältigung einer Last dienen, so muß die aufgewandte Kraft der Last gleich oder vielmehr etwas größer sein, denn damit eine Drehung erfolge, muß in der Praxis auch die Steifigkeit des Seils und die Reibung am Bolzen mit überwunden werden. Es kann daher die feste Rolle mechanische Vortheile an Kraft oder Zeit nicht gewähren; sie dient zunächst lediglich um der Kraft eine bequemere Richtung zu geben. So kann z. B. ein Mann eine Last mit größerer Bequemlichkeit aufziehen, als wenn er sie eine Leiter hinantragen müßte, auch können so mehrere Menschen ihre Kräfte an einem Seil vereinigen. Diese Bequemlichkeit liegt aber nicht sowohl in der Rolle an sich als vielmehr in der Biegsamkeit des Seil, denn man könnte auch allenfalls ohne Rolle eine Last heben, wenn man das Seil über einen bloßen Balken zöge. Dies wäre indeß nicht ohne großen Reibungsverlust und Beschädigung des Seils denkbar, und so ist ersichtlich, daß die Rolle blos zur Verminderung der Reibung dient und das Wesentliche das Seil ist. Mit lauter starren Materialien könnte man keine Rolle herstellen.

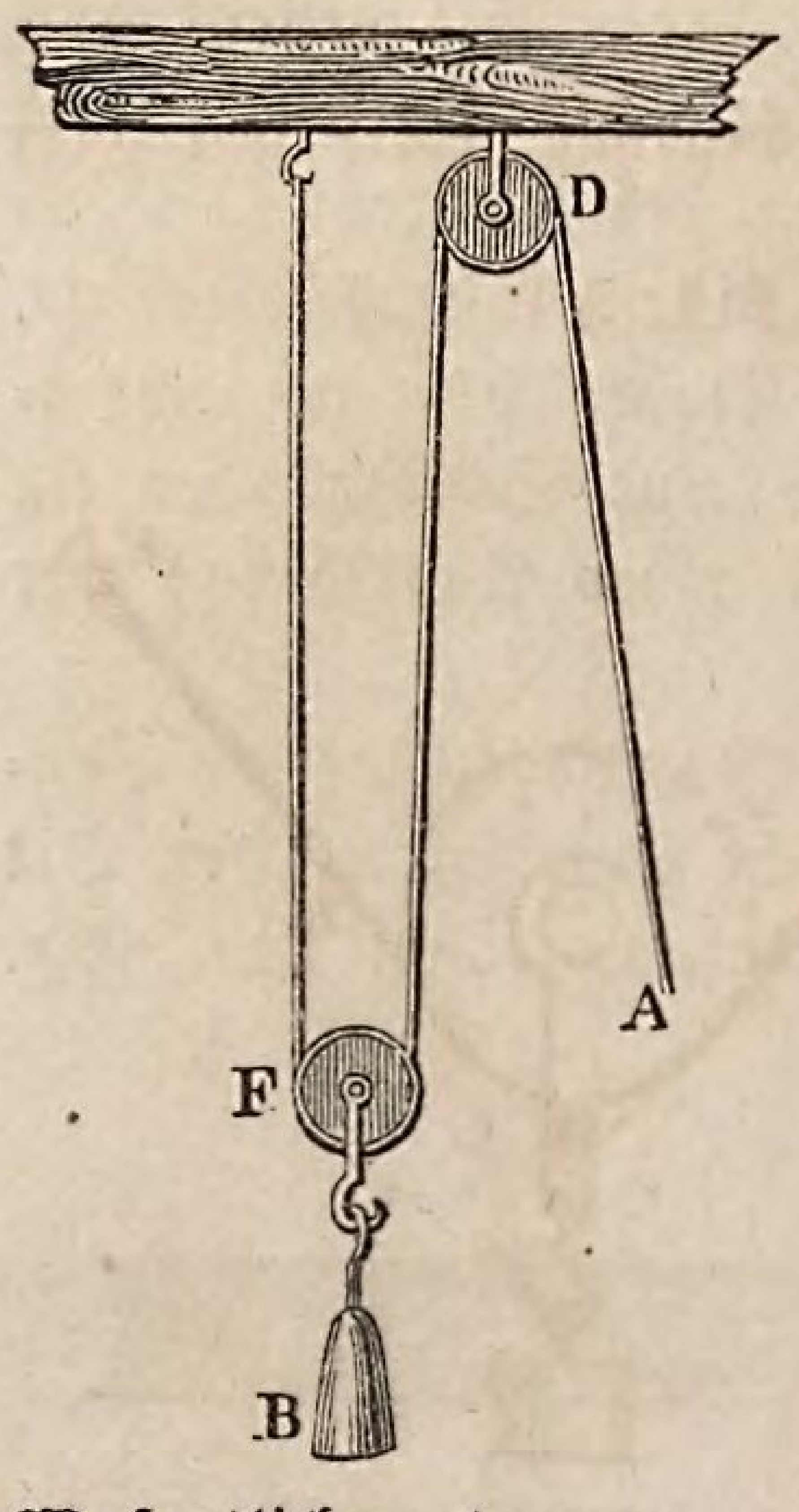
Fig. 52.



Anders als an der festen Rolle allein gestalten sich die Sachen, wenn feste und bewegliche Rollen zu einem System verbunden werden. In dem umstehend ersichtlichen einfachsten Beispiel ist die obere Rolle eine feste, die untere eine bewegliche; erstere hat auch hier nur die Funktion einer Leitrolle. Wirkt nun eine hinreichende Kraft bei A ziehend auf das Seil, so wird, während beide Rollen sich drehen, die Last B gehoben werden. Untersucht man dabei die Geschwindigkeiten der Kraft und der Last, so wird sich finden, daß die der letztern nur die Hälfte von der der erstern ist. Natürlich: die Last hängt in einer

Schlinge, also an zwei Seilen; die Spannung durch alle drei Seilpartien ist die nämliche; hat nun die Kraft z. B. 1 Fuß ihres Weges zurückgelegt, also das Seil um 1 Fuß verkürzt, so wird jede Seite der Schlinge hierzu eine halbe Fußeslänge hergegeben haben und der Erfolg ist, daß nun die Last um $\frac{1}{2}$ Fuß höher hängt. Schon diese Verschiedenheit der beiden Geschwindigkeiten kann uns, nachdem uns das Verhalten der Kräfte am Hebel bekannt ist, zu dem Schlusse führen, daß hier ein Hebelverhältniß vorliegen müsse, und daß mithin die bewegenden Kräfte nicht so groß zu sein brauchen als der zu überwindende Widerstand. So ist es auch in Wirklichkeit: während bei der festen Rolle Kraft und Last gleich sind, ist die Kraft bei der beweglichen Rolle halb so groß als die Last. Wiegt demnach die Last B 1 Centner, so hält ein bei A aufgehangener halber Centner ihr das Gleichgewicht und ein kleiner Ueberschuß an Kraft bringt die Last zum Steigen. Um uns nun das Verhältniß an der beweglichen Rolle auf die einfachste Weise klar zu machen, wollen wir zuvörderst das Unwesentliche vom Wesentlichen trennen. Unwesentlich für unsere Betrachtung sind aber die feste Rolle und das Seilstück D A, denn erstere ist, wie gesagt, lediglich der Leitung wegen da, und dadurch, daß die Kraft den Umweg um sie herummachen muß, wird sie, die Kraft, da die Theorie keine Reibung in Anschlag bringt, weder größer noch kleiner; es ändert mithin in der Sache gar nichts, wenn wir annehmen, die Kraft griffe das Seil gleich diesseit der Rolle, dem Aufhängehaken gegenüber an und zöge gerade aufwärts; denn auch in diesem Falle wird es nur der halben Kraft bedürfen, um eine gegebene Last zu heben. Auf diesem Punkte angekommen steht nun nichts mehr im Wege, die Schlinge, in welcher die Last hängt, geradezu als einen einarmigen oder Hubhebel anzusehen, der nur in Folge der Biegsamkeit seines Materials nicht die gewöhnliche geradlinige Form hat. Nehmen wir statt des Seils, das vom Haken bis an die obere Rolle 6 Fuß messen mag, eine 6füßige Stange, stützen dieselbe an dem einen Ende und hängen das Gewicht B in ihrer Mitte auf, so werden wir ganz mit demselben Kraftaufwand, nämlich der Hälfte des Gewichts, die Stange am andern Ende heben können; die Last ruht in einem wie dem andern Falle zur Hälfte auf dem festen Stützpunkt (also bei der Rolle an dem Haken), zur andern Hälfte hält ihr die bewegende Kraft das Gleichgewicht. Hieraus geht ferner hervor, daß das Verhältniß zwischen Kraft und Last sich gleichbleibt, wie lang oder kurz die Schlinge ausfallen möge, denn während des Aufwindens hält sich die Last vermöge ihrer Schwere immer auf der Mitte des Hebels, indem die bewegliche Rolle bei jeder Verkürzung in D dem Stützpunkte näher rückt. Man könnte sich das Hebelverhältniß ebensowohl in die bewegliche Rolle selbst verlegt denken. Die Kraft greift die Rolle rechts F gegenüber an und setzt sie in Umdrehung; ihr

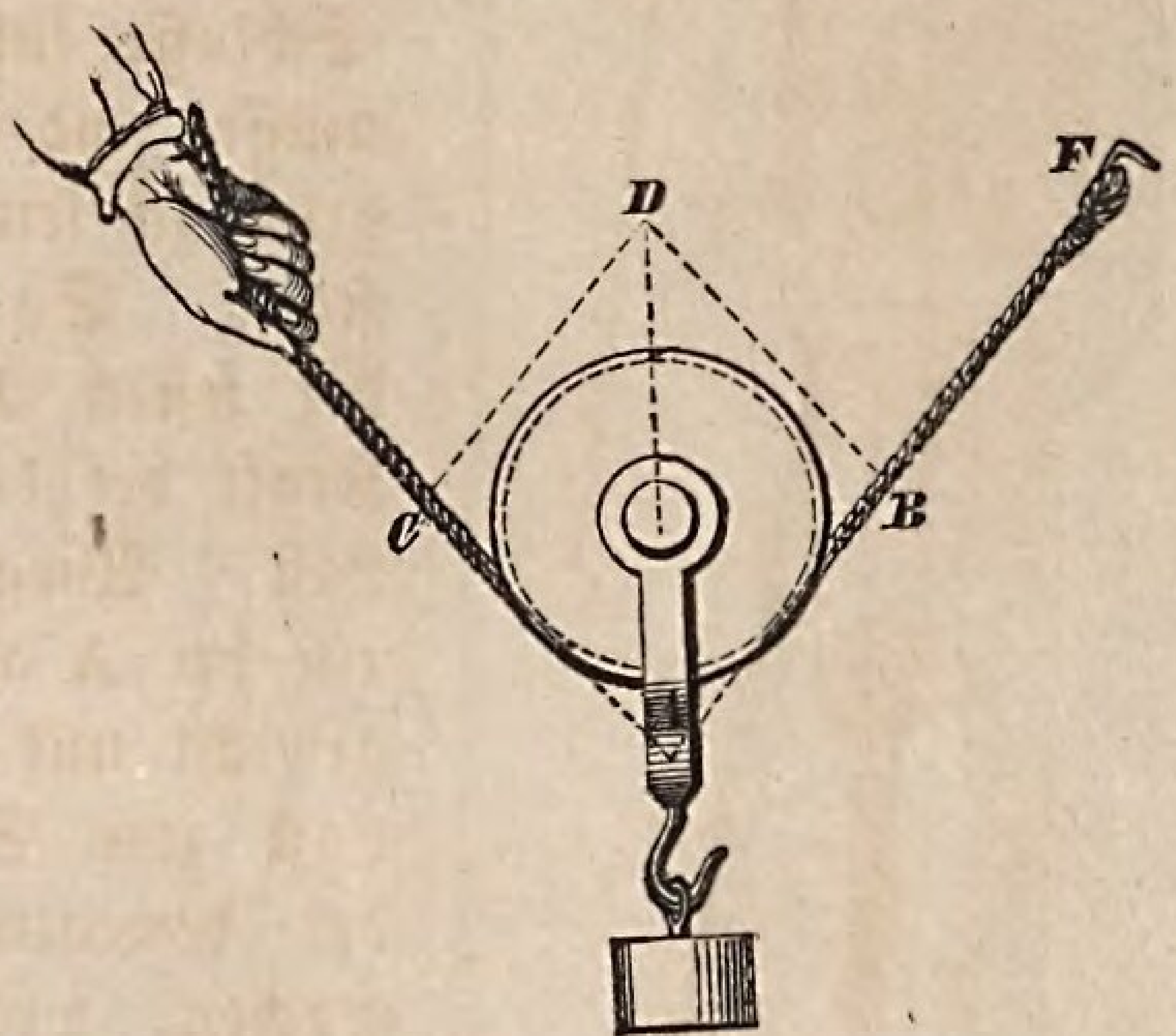
Fig. 53.



Stützpunkt ist währenddem bei F; dies giebt einen Hebel, dessen Länge dem Durchmesser der Rolle gleich ist. Im Centrum der Rolle, also auf der Halbschied dieses Hebels, hängt die Last; ihr Hebel ist folglich nur dem Halbmesser der Rolle gleich, und da der Krafthebel das Doppelte dieser Last hat, so wird die Kraft nur halb so groß sein müssen als die Last.

Sind die beiden Hälften der Schlinge, worin die bewegliche Rolle mit ihrer Last hängt, nicht parallel (s. Fig. 54) so kann der Last nicht mit der halben Kraft das Gleichgewicht gehalten werden, sondern die Kraft muß größer sein. Ihre Größe zu berechnen dient das Verfahren, das wir bei Gelegenheit der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte kennen lernten. Man verlängert demzufolge die Richtungslinien der beiden Seilenden bis zum Punkte ihres Zusammentreffens A, fällt auf A eine Lothlinie, die man in so viele Längeneinheiten theilt als die Last Gewichtseinheiten enthält, und zieht dann von dem Endpunkte der Lothlinie aus die beiden Parallelen D B, D C. Die so erhaltenen Linien A B und A C drücken zusammen die Kraft aus, mit welcher die beiden Seilenden gespannt sind, und die Zugkraft, welche die Last im Gleichgewicht hält, muß einer dieser Linien gleich sein.

Fig. 54.



Die mechanische Wirksamkeit der Rolle kann durch Zusammensetzung mehrerer derselben ungemein gesteigert werden. Eine Verbindung mehrerer fester und beweglicher Rollen bildet einen Flaschenzug. Solcher Flaschenzug- oder Rollensysteme giebt es zwei verschiedene Arten; bei der einen läuft nur ein Seil durch das ganze System, bei der andern wirken mehrere getrennte Seile. Beide Arten treten wieder in verschiedenen Formen auf: Denken wir uns in Fig. 53 das Seil bei A verlängert, unten eine zweite bewegliche Rolle umfassend und wieder oben über eine feste Rolle gehend, und in gleicher Weise allenfalls noch eine dritte Schlinge bildend, so haben wir zwar noch keinen Flaschenzug, aber wir erhalten einen, wenn auch von weniger gebräuchlicher Form, sobald wir die drei untern Rollen unter sich ebenfalls durch einen Querbalken verbinden, wie es die obern schon sind. Wird nun in die Mitte dieses Balkens die Last gehängt, so spannt sie alle Seilpartien gleichmäßig an und kann mit $^1/_8$ Kraft gehoben werden. Durch die Verbindung unter sich sind die untern Rollen eigentlich auch feste geworden, aber das Ganze, das sie nun bilden und das eben die Flasche heißt, bleibt in Bezug auf die obere Flasche beweglich. In den gebräuchlicheren Flaschenzügen sind nun die zusammengehörigen Rollen entweder in einer Ebene übereinander geordnet oder mit ihren Flächen gegeneinander gekehrt. In der letztern Form (Fig. 55) sind sämmtliche Rollen gleich groß; das Seil ist mit dem einen Ende an einem Haken an der untern Seite des obern Klobens

befestigt, läuft von da abwärts über die erste untere Rolle, dann aufwärts zur ersten obern u. s. w. Da die Gehäuse dieses Flaschenzuges verhältnißmäßig kurz sind, so ist diese Einrichtung raumersparender und daher zum Heben praktischer als die folgende; dagegen ist freilich wegen der schiefen Führung der Seile die Reibung und somit der Kraftverlust wie die Abnutzung der Seile beträchtlicher. Die andere Form des Flaschenzuges (Fig. 56) bei welcher die Rollen zwischen Schienen oder Scheeren übereinander liegen, ist nun ohne weiteres verständlich. Bei ihr ist der Durchmesser sämmtlicher untern Scheiben, gegen die obern gehalten, um die doppelte Taustärke größer als bei diesen; zugleich nimmt der Durchmesser sowohl oben als unten bei jeder folgenden Scheibe um die doppelte Taustärke ab.

Fig. 55.

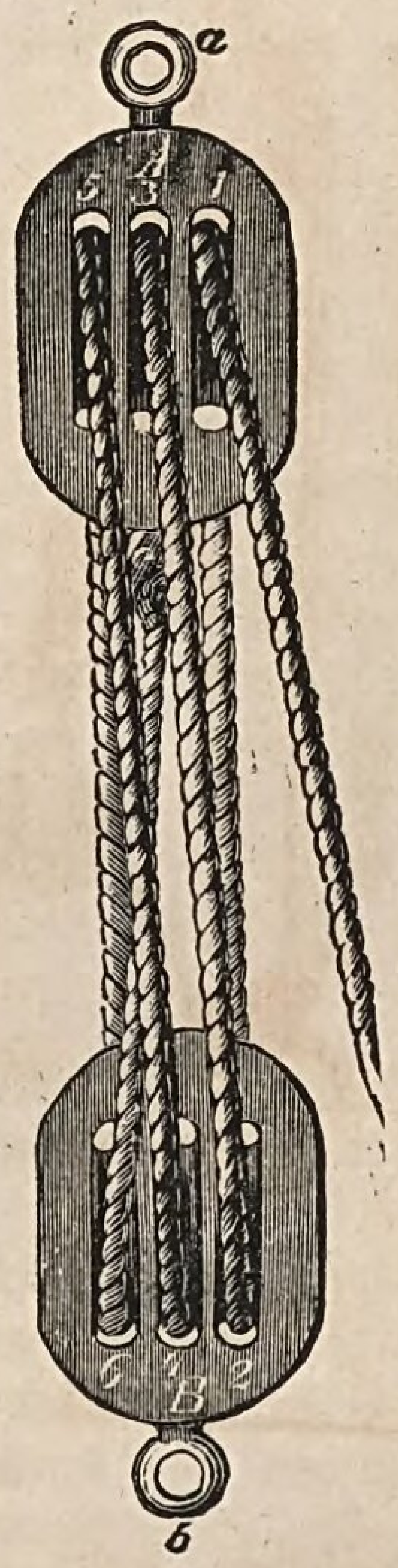
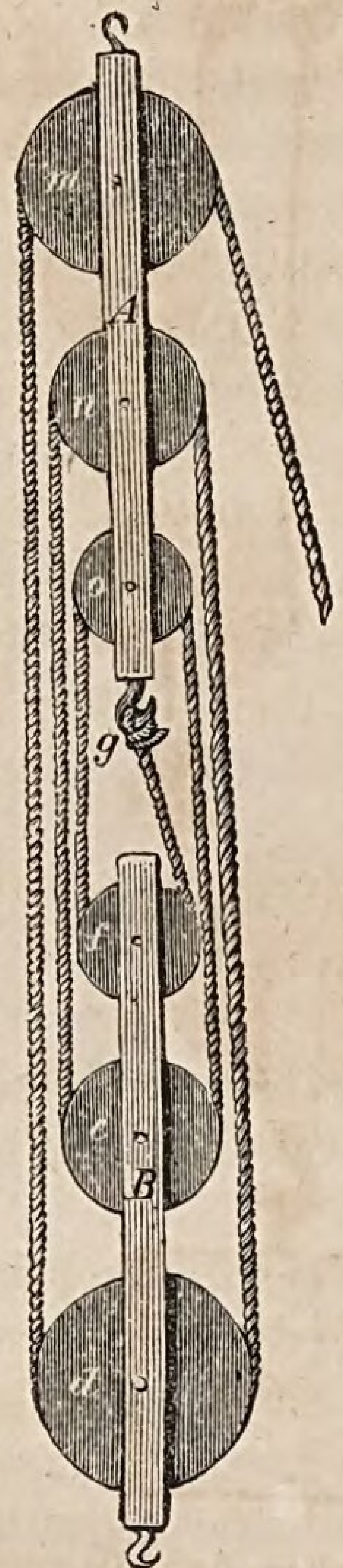


Fig. 56.

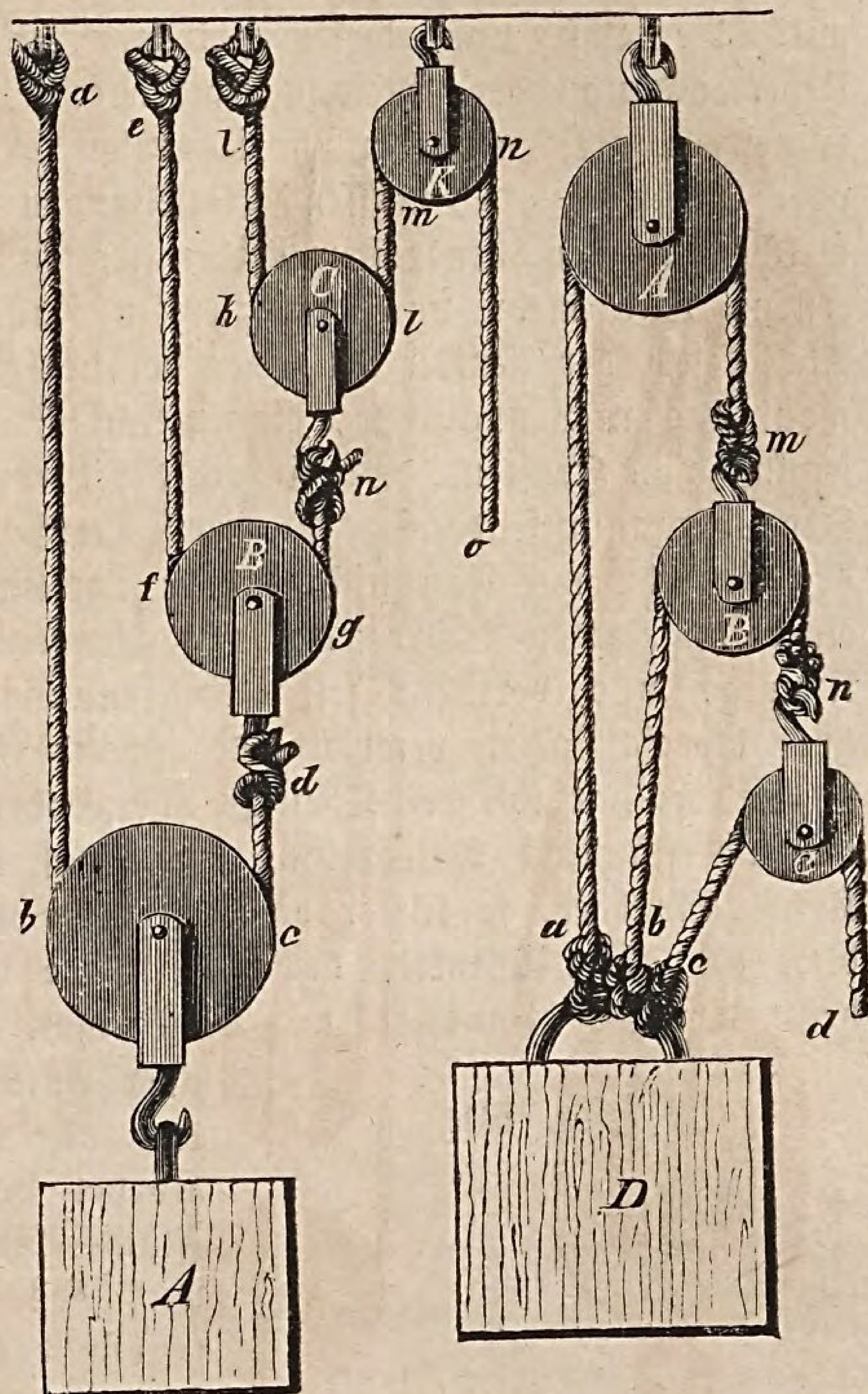


Das Verhältniß zwischen Kraft und Last am Flaschenzuge findet man, wenn man die Seilpartien zählt, an welcher die Last hängt. Sind 6 Rollen vorhanden, so hängt sie an 6 gleichförmig gespannten Seilen, deren jedes $^1/_6$ der Last zu tragen hat, und die erforderliche Kraft beträgt theoretisch den 6. Theil der Last. Allerdings kann in der Praxis das Doppelte an Kraft nöthig werden, da die Widerstände der Reibung an den Zapfen und der Starrheit der Seile selbst bei gut gebauten Apparaten noch immer beträchtlich genug sind. Daher lassen sich die Rollen auch nicht mit Vortheil beliebig vermehren und man bleibt meist bei Flaschenzügen von überhaupt 4 oder 6 Rollen stehen; weiter hinaus würde die Reibung bald so anwachsen, daß keine weitere Kraftverminderung gewonnen würde. Beim Heben auf beträchtliche Höhen ist die Anwendung der Flaschenzüge erschwert durch die ungewöhnliche Länge des Seils, das dazu erforderlich ist. Wirkt bei einem Apparate mit 6 Scheiben die Kraft von da aus, wo die Last liegt, so muß das Seil über 7 mal länger sein als der Weg, den die Last durchlaufen soll.

Die andere Art des Flaschenzuges, den man zur Unterscheidung auch wohl den Rollenzug nennt, unterscheidet sich dadurch, daß an ihm getrennte Seile wirken, und daß sämmtliche Rollen, mit Ausnahme der oberen, die am Gerüste befestigt ist, bewegliche sind. Die Einrichtung ist entweder wie in Fig. 57, daß alle Tauenden am Gerüste befestigt sind und die Scheiben mit der Last hinaufgezogen werden, oder wie in Fig. 58, daß die Tauenden an der Last befestigt

werden und die Scheiben, mit Ausnahme der festen obersten, beim Aufziehen der Last heruntersteigen. Bei beweglichen Rollen ist, wie wir sahen, die halbe Kraft zum Heben der Last erforderlich; da deren nun in Fig. 57 drei vorhanden sind (die feste Rolle K zählt nicht mit) so hält hier eine 8 mal kleinere Kraft der Last das Gleichgewicht; denn wenn jede bewegliche Scheibe die Kraft verdoppelt, so wirkt die Kraft 1 vermittelst dreier Scheiben auf die Last wie 2 × 2 × 2 = 8. Wäre z. B. die Kraft 10 Pfund, so vermag sie vermöge der beweglichen Rolle C 20 Pfund zu tragen; das mittlere Seil geht über die gleichfalls bewegliche Rolle B, und wirkt mit einer Kraft von 20 Pfund auf jeder Seite, also zusammen mit 40 Pfund, demnach trägt das Seil an der untersten Scheibe 80 Pfund. In Fig. 57 hängt die Last an drei Seilen; die Spannung des ersten ist gleich der Kraft, die des zweiten gleich dem Doppelten und die des dritten gleich dem Vierfachen derselben, also ist hier die Wirkung der Kraft versiebenfacht.

Fig. 57. Fig. 58.

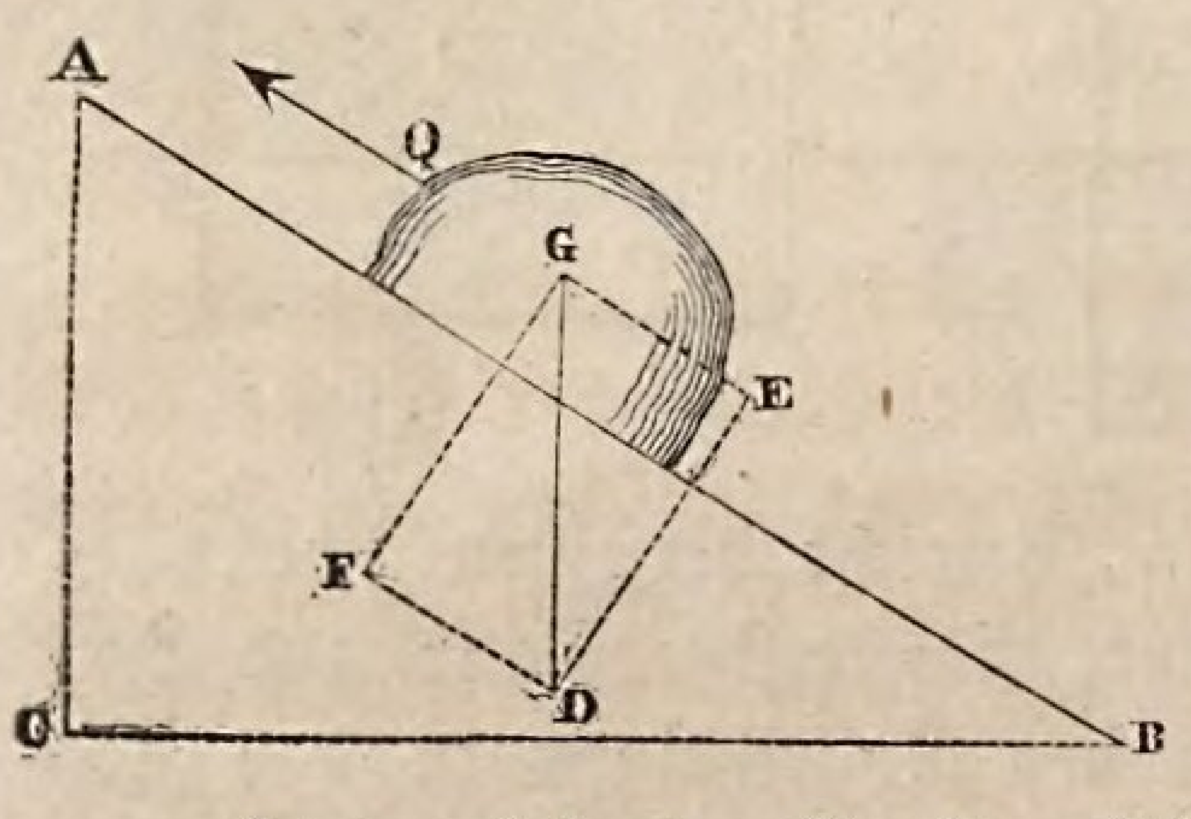


Die Schwere der Rollen wirkt, wie leicht ersichtlich, in dem ersten Falle der Kraft entgegen, während im zweiten die Kraft von den herabgehenden Rollen unterstützt wird; es ist daher das Gewicht derselben, wenn es auf Berechnung des wirklichen Nutzeffekts ankommt, im ersten Falle zur Last hinzuzurechnen, im zweiten davon abzuziehen. An den Rollenzügen ist das Reibungsverhältniß etwas günstiger als an Flaschenzügen; dagegen haben sie den Fehler eines zu kleinen Spielraumes, so daß sie nur bei ganz kurzen Hubhöhen zu brauchen sind. Denn die ganze Wirksamkeit hört auf, sobald (Fig. 57) die Scheibe C mit Scheibe K in Berührung kommt; in diesem Moment stehen aber die andern Scheiben noch weit ab, denn die mittlere hat ja nur die halbe Geschwindigkeit von C, die untere nur $^1/_4$ derselben. Macht man nun auch den Raum zwischen C und K so groß als möglich, so kann die Hubhöhe des Apparates doch immer nur ein kleiner Theil der Höhe sein, die er selbst einnimmt.

Die schiefe Ebene.

Wird eine Last vertical in die Höhe gezogen, so muß die Kraft der Last gleich sein; zieht man sie auf einer horizontalen Ebene fort, so wird die Last von dieser getragen, und es ist nur Kraft erforderlich zur Ueberwindung der Reibungswiderstände. Bildet dagegen die Ebene einen spitzen Winkel mit der horizontalen Richtung, ist sie also eine geneigte oder schiefe, so müssen Beziehungen zwischen Kraft und Last eintreten, welche zwischen den ersten beiden Fällen inne liegen, und bald mehr von dem ersten, bald mehr von dem zweiten Falle an sich haben, jemehr die Lage der Fläche sich der senkrechten oder der horizontalen nähert. Die schiefe Fläche ist wohl das ursprünglichste, sich gleichsam von selbst darbietende Mittel zur Zerlegung von Kräften. So einfach der Begriff ist, so mannichfach die Anwendung. Jede berganlaufende Straße, jede Treppe giebt schon ein Beispiel. Ein Mann, der ein schweres Faß nicht würde auf einen Wagen heben können, rollt es auf einer angelegten Schrotleiter mit Bequemlichkeit hinauf. Er nimmt also einen Umweg, und vertheilt seine Anstrengung auf einen größern Zeitraum. Aber auch die Last wird vertheilt: die schiefe Ebene nimmt ihm einen Theil derselben ab und er hat nur den Theil zu überwinden, welcher nicht senkrecht drückt. Schon eine oberflächliche Betrachtung lehrt, daß die Bewegung des Fasses um so mehr Kraft erfordert, je kürzer die schiefe Ebene, und um so leichter wird, je länger diese ist. Der Winkel, den die schiefe Ebene mit der Horizontalebene bildet, heißt der Elevationswinkel. Denkt man sich auf die schiefe Fläche eine Kugel oder einen andern Körper gelegt, und nimmt an, daß alle Reibung aufgehoben sei, so wird der Körper vermöge seiner Schwere sich die schiefe Fläche hinab nach der tiefsten Stelle bewegen. Auf das Gewicht des Körpers und auf die Größe des Elevationswinkels, also auf die beziehentliche Länge der Linien A B und A C, wird es nun ankommen, mit wie viel Kraft diese Fallbewegung geschehen wird. Um die Bewegung zu hindern, ist mithin eine gleiche entgegengesetzt wirkende Kraft nöthig. Natürlich ist es nie die ganze Schwerkraft eines Körpers, die ihn eine schiefe Fläche hinabtreibt, sondern immer nur ein Theil derselben. Man kann sich also auch hier die Kraft nach der uns bekannten Weise in zwei Kräfte zerlegt denken. In dem hier gegebenen Beispiel soll die Senkrechte G D das ganze Gewicht des Körpers ausdrücken; durch Ziehung des Parallelogramms erhalten wir aus ihr zwei Kräfte, deren eine G E mit der schiefen Fläche parallel, die andere senkrecht auf dieselbe gerichtet ist. Mit der Kraft G F drückt der Körper lediglich auf die schiefe Ebene, während die andere Kraft G E ihn hinabzuziehen strebt. Soll eine gleich große Kraft Q dieser letztern das Gleichgewicht halten, so muß sie ihr direct entgegengesetzt, also ebenfalls parallel zur schiefen Ebene wirken. Bei jeder andern Richtung wird die

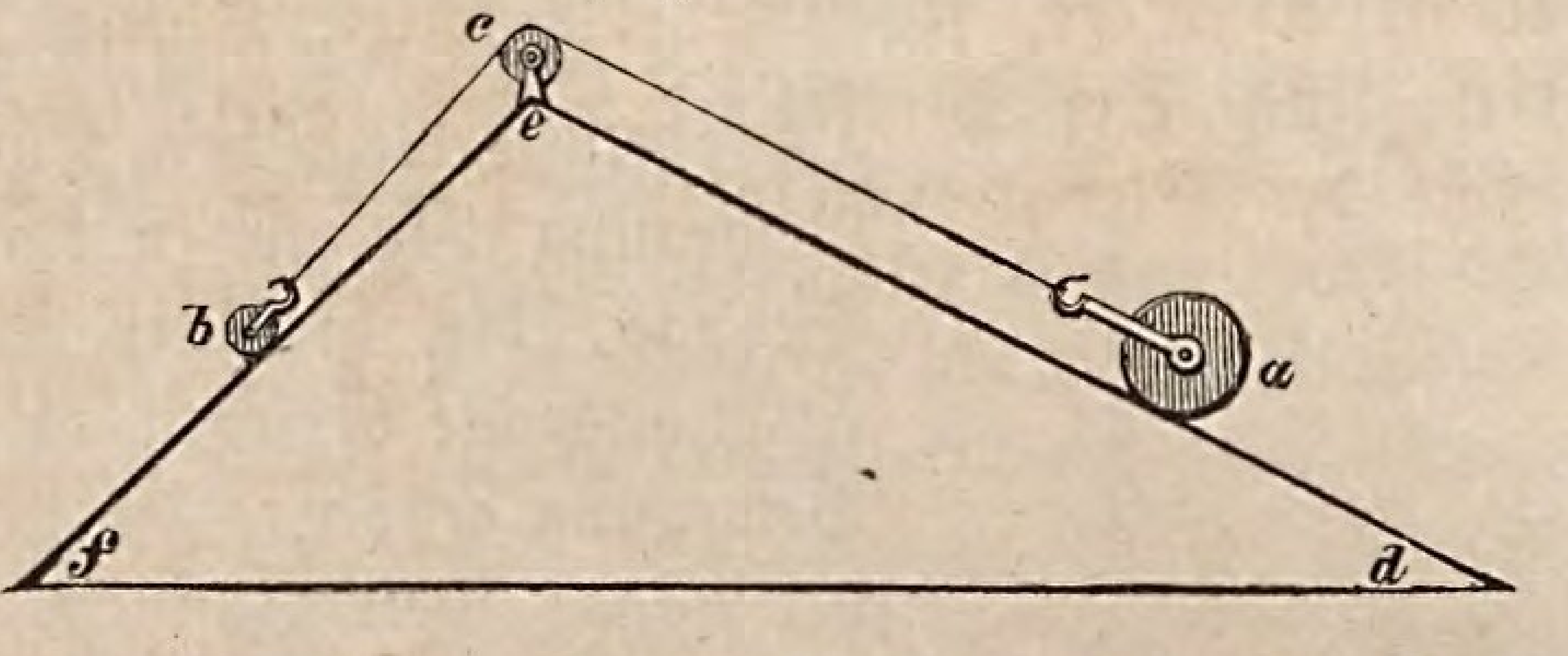
Fig. 59.



Gegenkraft größer sein müssen, wie leicht einzusehen; denn zöge sie mehr nach oben, so würde ein Theil der Kraft dadurch verloren gehen, daß er den Körper von der Fläche ab und in die Höhe zu heben strebt, während bei tiefer, etwa horizontal wirkendem Zuge der Kraftverlust durch das stärkere Anpressen des Körpers an die Fläche entsteht. Für den Fall des horizontalen Angriffs der Kraft muß sich die Kraft zur Last verhalten wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer horizontalen Projection, also der Linie C B. Unter Voraussetzung des parallelen Angriffs und des Nichtvorhandenseins irgendwelcher Reibung gilt nun der Grundsatz: bei der schiefen Ebene verhält sich die Kraft zur Last wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge. Betrüge mithin die Höhe A C nur den fünften Theil der Länge A B, so würde $1/5$ der Kraft, die den Körper am freien Falle hindert, schon hinreichen, ihn auf der schiefen Ebene in Ruhe zu erhalten, denn die übrigen $4/5$ würden ja dann offenbar von dieser selbst getragen werden. Eine kleine Zugabe an Kraft bewegt dann den Körper aufwärts. Pferde, die einen Wagen eine Anhöhe hinanziehen, müssen zuvörderst den mit der schiefen Fläche parallel wirkenden Theil der Schwerkraft, zugleich aber auch eine bedeutende Reibung überwinden.

Zuweilen wird eine auf einer schiefen Ebene befindliche Last durch eine andere gleichfalls auf einer schiefen Ebene befindliche im Gleichgewicht gehalten. In diesem Falle verhalten sich Kraft und Last, wenn die Höhe gleich ist, wie die Längen der beiden schiefen Ebenen. Es seien in Fig. 60 die beiden schiefen Ebenen e f und e d von gleicher Höhe, aber von ungleicher Länge; a und b seien zwei Gewichte, die durch eine über die Rolle c laufende Schnur verbunden sind. Ist nun z. B. die Länge der Ebene e d 4 Fuß, die der kürzern nur 2 Fuß, so besteht Gleichgewicht zwischen den beiden Kräften oder Gewichten a und b, wenn das erstere doppelt so groß ist als das letztere. In dieser Art verbundene schiefe Flächen finden öfter bei Eisenbahnen Anwendung, die zu Bergwerken gehören, indem ein auf der einen Seite herabrollender Wagen einen andern auf der entgegengesetzten Seite in die Höhe zieht. Dasselbe läßt sich natürlich auf einer einzigen schiefen Fläche erreichen, wenn das Seil oder die Kette, welche die beiden Wagen oder Wagenzüge verbindet, am obern Ende derselben um eine drehbare Trommel oder drgl. gelegt wird.

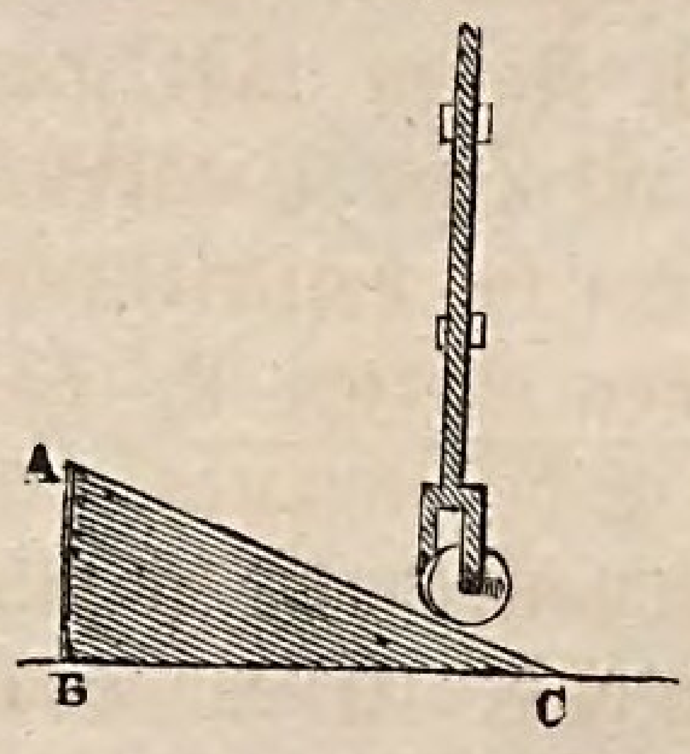
Fig. 60.



Wir haben schon bei verschiedenen Gelegenheiten gesehen, daß eine kleine Last, die sich mit einer größern Geschwindigkeit bewegt, das Nämliche wirkt als eine größere, die in derselben Zeit einen kürzern Weg zurücklegt. Dieses ganz allgemeine Gesetz findet denn auch auf die schiefe Ebene Anwendung. Denken wir uns in Fig. 60 das Gewicht b senkrecht herabhängend und in dieser Lage im Gleichgewicht mit der größern Last a, die wir an die Basis der schiefen Ebene versetzen wollen. Wird nun das Ganze in Bewegung gesetzt, so daß

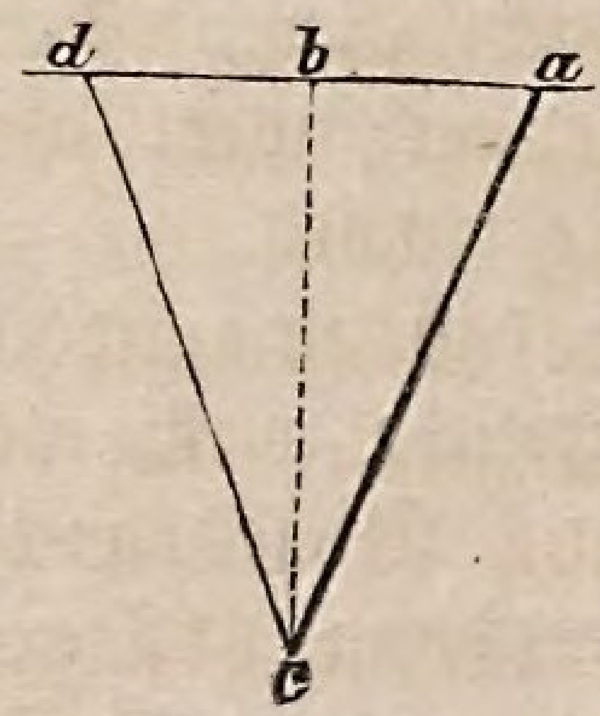
b abwärts geht, so ist die Kraft von b gleich seinem Gewicht multiplicirt mit dem zurückgelegten Wege, und die Kraft von a gleich dem parallel mit der Ebene wirkenden Gewichtsantheil multiplicirt mit dem senkrecht zurückgelegten Raume. Wenn also a auf der Höhe der Ebene angelangt ist, hat b einen Weg abwärts zurückgelegt, der der Länge der Ebene gleich ist, während a dadurch nur so viel gehoben wurde als die Höhe der Ebene beträgt. Betrüge also die Höhe nur 1 Fuß, die Länge aber 50 Fuß, so wird die Kraft, die eine Last vermittelst dieser schiefen Ebene auf die Höhe von 1 Fuß heben soll, 50 Fuß abwärts durchlaufen müssen. Dafür braucht nun aber, wenn die Last 50 Pfund ist, die Kraft nur etwas über ein Pfund zu sein, da sie ja, wie uns bekannt, bei diesem Elevationswinkel nur $^1/_{50}$ der ganzen Last zu überwinden hat. Man sieht demnach, daß, wie bei jeder Maschine, so auch bei der schiefen Fläche der Gewinn an Kraft durch einen Verlust an Geschwindigkeit oder Zeit aufgewogen wird. Fährt ein Fuhrmann eine steile Straße in einer Schlangenlinie hinan, so läßt er die ihm zu Gebote stehende Zugkraft auf einem längern Wege, also längere Zeit wirken; er verlängert künstlich die gegebene schiefe Fläche und verkleinert so den Elevationswinkel, und das Bergfahren geht nun um so viel leichter. In Verbindung mit andern Maschinen lassen sich auf einer schiefen Fläche ungeheure Lasten heben. Wie dieses Hülfsmittel auch zum sanften Niederlassen colossaler Körper trefflich dient, wird u. A. beim Vomstapellassen großer Schiffe recht ersichtlich.

Fig. 61.



Denken wir uns in nebenstehender Figur die schiefe Ebene als einen beweglichen Körper, der eine hin und her gehende Bewegung hat, so ist klar, daß die senkrecht auf ihr stehende Stange, die in einer Führung gleitet und unten mit einer Frictionsrolle versehen ist, dadurch eine auf und nieder gehende Bewegung erhält. Ist der Spielraum der schiefen Ebene gleich der Länge ihrer Basis B C, so ist der Hub der Stange gleich ihrer Höhe B A und die Kraft wird um die Differenz dieser beiden Längen kleiner sein können. Diese allerdings nur zu ganz leichten Kraftübertragungen geeignete Vorrichtung zeigt uns, wie die schiefe Fläche auch unter die Last geschoben werden kann und daß sie unter solchen Umständen wie ein Keil wirkt. In der That beruht die Wirkung des Keils nur auf der schiefen Ebene. Er besteht in der Regel aus zwei mit ihrer Basis zusammenstoßenden schiefen Flächen a b c und d b c und ist dann ein doppelter Keil; jede seiner Hälften bildet einen einfachen.

Fig. 62.



Beim Gebrauch des Keils bildet der Widerstand, den die auseinander zu treibenden Theile ihrer Trennung entgegensetzen, die Last; die Kraft wirkt senkrecht auf den Kopf des Keils und ist in der Regel kein Druck, sondern ein Stoß oder Schlag, daher die Wirkung des Keils nicht genau oder nur schwierig zu bestimmen ist, indem viel von der Anzahl und Kraft der Schläge und der verschiedenen Beschaffenheit des Widerstandes abhängt. Im Allgemeinen jedoch gilt das auf der Wirkung der schiefen Fläche beruhende Gesetz, daß die

auf die Breite des Keils senkrecht wirkende Kraft sich zur Last oder dem Widerstande verhält wie diese Breite (d a) zur Länge des Keils (b c) wobei freilich die am Keil stets auftretende sehr starke Reibung noch außerdem zu überwinden bleibt. Daraus ergiebt sich, daß ein schwacher Keil leichter einzutreiben ist als einer von größerer Breite; freilich ist dann auch die Wirkung geringer.

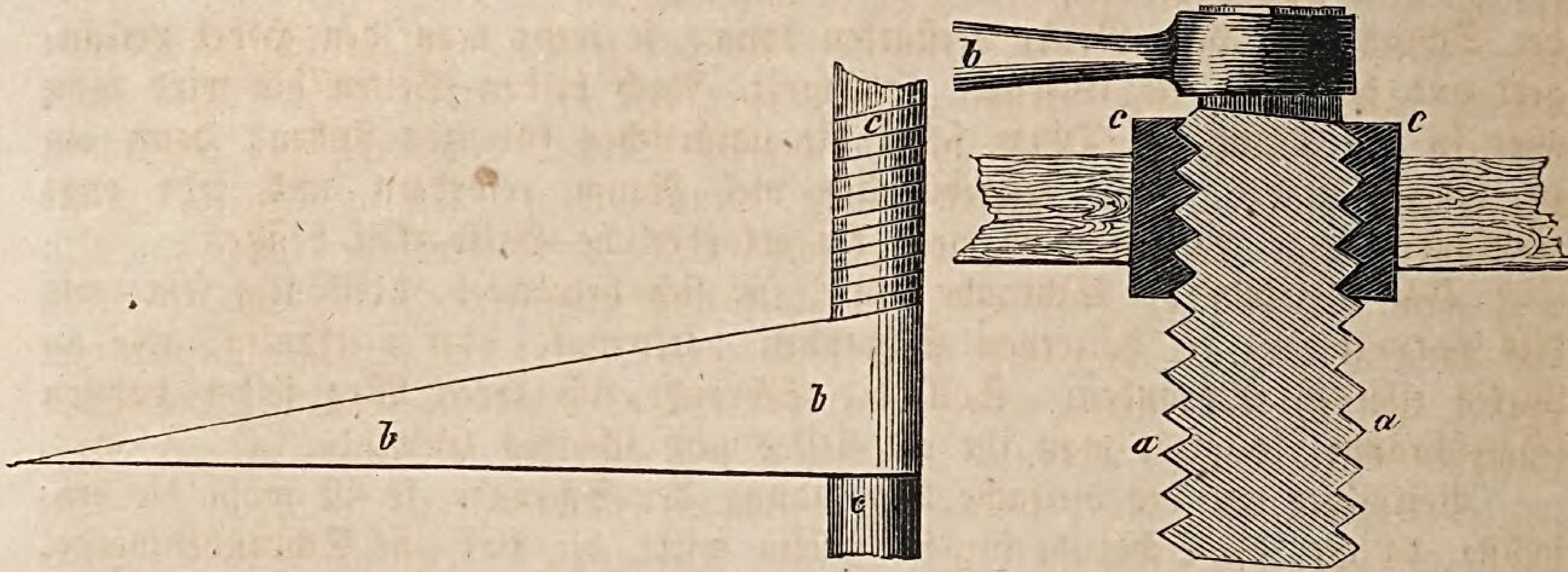
Die Widerstände der zu trennenden Flächen wirken auf die schiefen Ebenen des Keils senkrecht und verhalten sich daher wie die beiden Seitenkräfte einer mittlern Kraft, die den Keil nach erfolgtem Stoße, besonders bei elastischem Material gerade aufwärts treiben würde, wenn nicht in den meisten Fällen die Reibung noch größer wäre. Indeß kommt dieses Herausspringen doch zuweilen vor, wenn die Flächen des Keils sehr glatt sind und seine Breite im Verhältniß zur Länge bedeutend ist. Ein so geformter Keil heißt ein stumpfer, einer von großer Länge bei kleiner Breite ein spitzer. Das schwierigere Eintreiben eines stumpfen Keils hat ganz denselben Grund wie die schwerer zu bewirkende Aufwärtsbewegung eines Körpers auf einer schiefen Fläche mit starker Neigung. Bei Material, das wie z. B. Holz gut in einer Richtung spaltbar ist, wird die Wirkung des Keils dadurch wesentlich unterstützt, daß die bereits getrennten Theile auf die noch zu trennenden wie Hebel wirken.

Der Keil leistet in manchen Fällen gute Dienste, wo die andern mechanischen Potenzen nichts ausrichten würden, hauptsächlich deshalb, weil er stoßweise wirkt und somit das Moment des auf ihn geführten Schlages im Vergleich zu dem Drucke des Hebels viel größer ist als dieser. Außer zum Trennen und Spalten benutzt man den Keil auch zu näherm Aneinanderbringen von Flächen, wie dies z. B. bei der Oelpresse der Fall ist. In manchen Fällen läßt man den eingetriebenen Keil an seiner Stelle, so daß er dauernd auf seine Umgebungen wirkt und zur Feststellung derselben dient. Dies kommt vor bei verschiedenen Maschinentheilen und Gerüsten, beim Hobel, den Stielen von Aexten u. dgl. Auch als kräftiges Hebemittel wird der Keil gebraucht; auf Schiffswerften werden die größten Schiffe, wenn man sie vom Stapel lassen will, mit leichter Mühe dadurch gehoben, daß man eine Menge Keile unter den Kiel treibt. Eben so hat man große Gebäude, z. B. Essen von Schmelzöfen, die sich nach einer Seite gesenkt hatten, durch untergetriebene Keile wieder in die senkrechte Lage gebracht. Endlich giebt es eine große Menge Werkzeuge, die mehr oder weniger von der Natur des Keils an sich haben, z. B. Meißel, Messer, Scheeren, Nägel, Ahlen, Nadeln, Aexte, Hacken, Dolche, Säbel u. s. w.

Die letzte der sog. einfachen Maschinen, doch eine der wichtigsten, ist die Schraube. Sie kann indeß, wo es auf Kraftäußerung ankommt, nicht ohne einen Hebel gebraucht werden und bildet in dieser Verbindung schon eine zusammengesetzte Maschine. Dem Princip nach ist die Schraube nichts anderes als eine um einen Cylinder gelegte schiefe Ebene, wie Fig. 63 zeigt. An dieser schiefen Ebene, wenn abgewickelt, verhält sich die Länge zur Höhe wie der Umfang des Cylinders zu dem Abstande der einzelnen Schraubenwindungen. Während sich der Cylinder dreht, steigen die Lasten auf der gewundenen schiefen Ebene ebenso auf und ab, als wenn dieselbe eine gerade Linie bildete. Wie

nun bei jeder simpeln schiefen Ebene aus ihrer Länge und Höhe das Verhältniß von Kraft und Last gefunden wird, so bei der Schraube aus dem Umfange

Fig. 63.



der Spindel und der Höhe des Schraubenganges, d. h. dem Abstande, der zwischen den einzelnen Gewinden besteht und an einer gut geschnittenen Schraube natürlich an allen Stellen gleich weit ist. Deshalb ist es auch nur nöthig das Verhältniß einer einzelnen Windung zu kennen, da sich dasselbe bei jeder folgenden wiederholt und so die Last gleichsam immer von einer schiefen Ebene an eine andere ihr gleiche abgegeben wird. Es verhält sich somit die Kraft an der Schraube zur Last, die Reibung unberücksichtigt gelassen, wie die Höhe eines Schraubengangs zu seiner Länge, also zu dem Unfange der Spindel. Ein besonderer Kraftgewinn würde aber durch die bloße Schraube nicht zu erlangen sein; sie wird erst ein wirksames Instrument durch einen mit ihr verbundenen Hebel, und es giebt in diesem Falle natürlich nicht mehr der Umfang der Spindel den einen Faktor, sondern der Kreis, den der Angriffspunkt der Kraft am Hebel beschreibt, also die Länge des Hebels. Es habe eine Schraube 3 Zoll Umfang und ihr Gewinde $^1/_2$ Zoll Höhe, so wird sich die Kraft, welche unmittelbar an der Schraube dreht, zur Last verhalten wie 1 zu 6; bei einmaligem Umgange wird die Kraft einen Weg von 3 Zoll, die Last nur von $^1/_2$ Zoll gegangen sein; wäre der Abstand der Gewinde nur $^1/_4$ Zoll, also die Steilheit der Schraube nur halb so groß gewesen, so hätte dieselbe Kraft die doppelte Last heben können, allerdings aber nur $^1/_4$ Zoll hoch. Läßt man aber nun die Kraft auf einen Hebel wirken, so sind die Effecte begreiflicherweise bedeutender. Es sei der Hebel 36 Zoll lang, die Höhe der Schraubengänge $^1/_4$ Zoll; bei einmaligem Umgange wird die Kraft am Hebel einen Kreis von etwa 216 Zoll oder 864 Viertelzoll durchlaufen, währenddem die Last durch $^1/_4$ Zoll bewegt wird. Eine Kraft von 1 Pfund kann also eine Last von 864 bewegen, freilich nur mit einer Geschwindigkeit, die nur $^1/_{864}$ ihrer eigenen beträgt. Vier Männer, deren jeder eine Kraft von 120 Pfund ausübt, würden demnach an dieser Vorrichtung einen Druck von 414,720 Pfund erzeugen können. Allerdings ist in Folge der

gewaltigen Reibung an der Schraube der wirkliche Effect bedeutend geringer als der theoretische, indem die Reibung, die durchschnittlich zu $^1/_3$ angenommen wird, zuweilen bis zu $^3/_4$ der gesammten Kraft vernichten kann. Dessen ungeachtet ist die Maschine in tausend Fällen nützlich, ja oft unentbehrlich.

Es ist aus dem bisher Gesagten einleuchtend, daß man die Wirksamkeit der Schraube in dem Grade verstärken kann, je mehr man den Hebel verlängert und die Höhe der Gewinde verringert. Nach beiden Seiten hin wird man aber in der Natur der Dinge selbst die natürlichen Grenzen finden; denn ein zu langer Hebel würde ungebührlich viel Raum erfordern und sehr enge Schraubengänge würden nicht mehr die erforderliche Haltbarkeit besitzen.

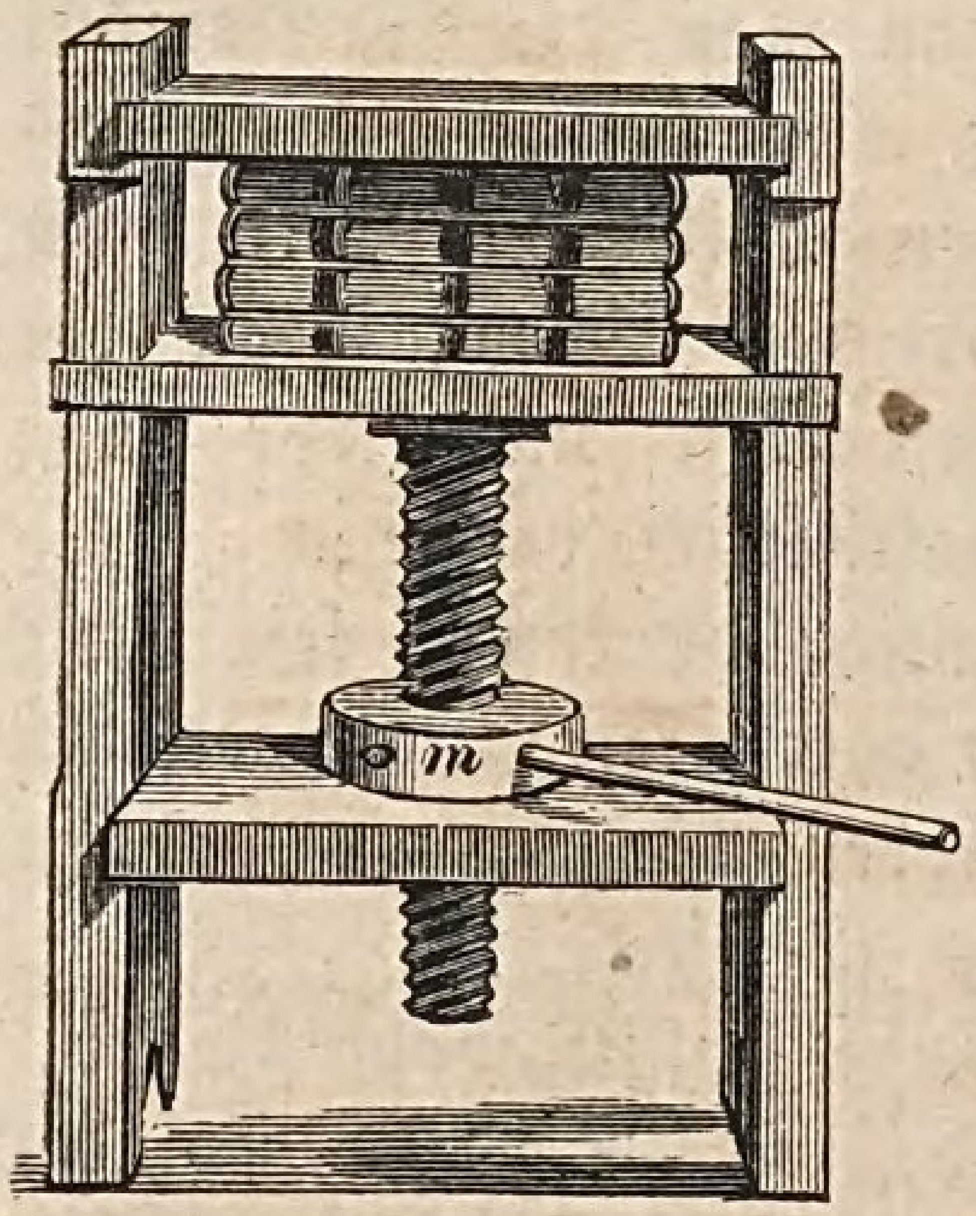
Das Gewinde der Schraube kann, für sich betrachtet, dreikantig sein, wie dies vorzugsweise bei hölzernen Schrauben vorkommt, oder vierkantig, wie an starken eisernen Schrauben. Soll die Schraube sich ihren Weg selber bahnen (Holzschraube) so giebt man ihr ein steiles und scharfes Gewinde.

Betrachten wir die vielfache Anwendung der Schraube, so ist wohl die einfachste, da hier die Schraube für sich allein wirkt, die, daß eine Schraubenspindel in Holz oder anderes weiches Material eingedreht wird. Die Schraube bahnt sich hier selbst ihren Weg und sitzt, da zwischen ihren Windungen sich überall Holz befindet, so fest, daß sie in gerader Richtung nur mit großer Gewalt zurückgezogen werden könnte. Indeß ist diese Befestigung durch Schrauben nur eine Art der Anwendung und nicht gerade die wichtigste; die Schraube soll hauptsächlich Bewegungsmittel sein und dazu muß sie einen bereits gebahnten Weg haben, der dann die weibliche Schraube oder die Schraubenmutter heißt. Sie bildet im Wesentlichen einen hohlen Cylinder, an dessen innerer Seite die Schraubengänge als Vertiefungen eingeschnitten sind, so daß die vorspringenden Gänge der Spindel überall genau in dieselben passen. Mit Ausnahme der oben erwähnten Einbohrung der Schraube wirken demnach überall Schraube und Mutter zusammen, und es kann dabei die zu bewegende Last entweder an der Spindel oder an der Mutter angebracht sein; es darf daher immer nur das Eine dieser Stücke beweglich sein, während das Andere gegen dieses eine feste oder ruhende Lage haben muß. Es geht also entweder die Spindel durch die Mutter, oder diese läuft längs der Spindel.

Den Fall, daß die Mutter an der feststehenden Spindel gedreht wird und an ihr auf und absteigt, sehen wir an den gewöhnlichen Buchbinder- und Kartenpressen. Da hier die Spindeln und Muttern doppelt sind, so wird die Kraft beider letzteren zunächst auf ein bewegliches Zwischenstück übertragen, das sie vereint auf den zu pressenden Gegenstand überträgt. Wird dagegen die Mutter in eine Lage gebracht, wo sie sich nicht im Sinne des Schraubengangs vorschieben kann, so muß sich die Spindel durch die Mutter fortschieben. Diese Einrichtung wird u. A. an Sägen zum Spannen des Sägeblattes benutzt. Die umstehende Abbildung zeigt die Anwendung dieser Einrichtung an einer Pack- oder Glättpresse. Hier ist m die Mutter; sie würde, mittelst des Hebels von rechts nach links herumgedreht, an der Spindel herabgehen, wenn nicht die feste untere Platte sie daran hinderte. Der allein mögliche Erfolg ist nun, daß die Spindel

selbst in die Höhe steigt und die mittlere bewegliche Platte hebend, die auf dieser liegenden Gegenstände gegen die obere festliegende Platte drückt.

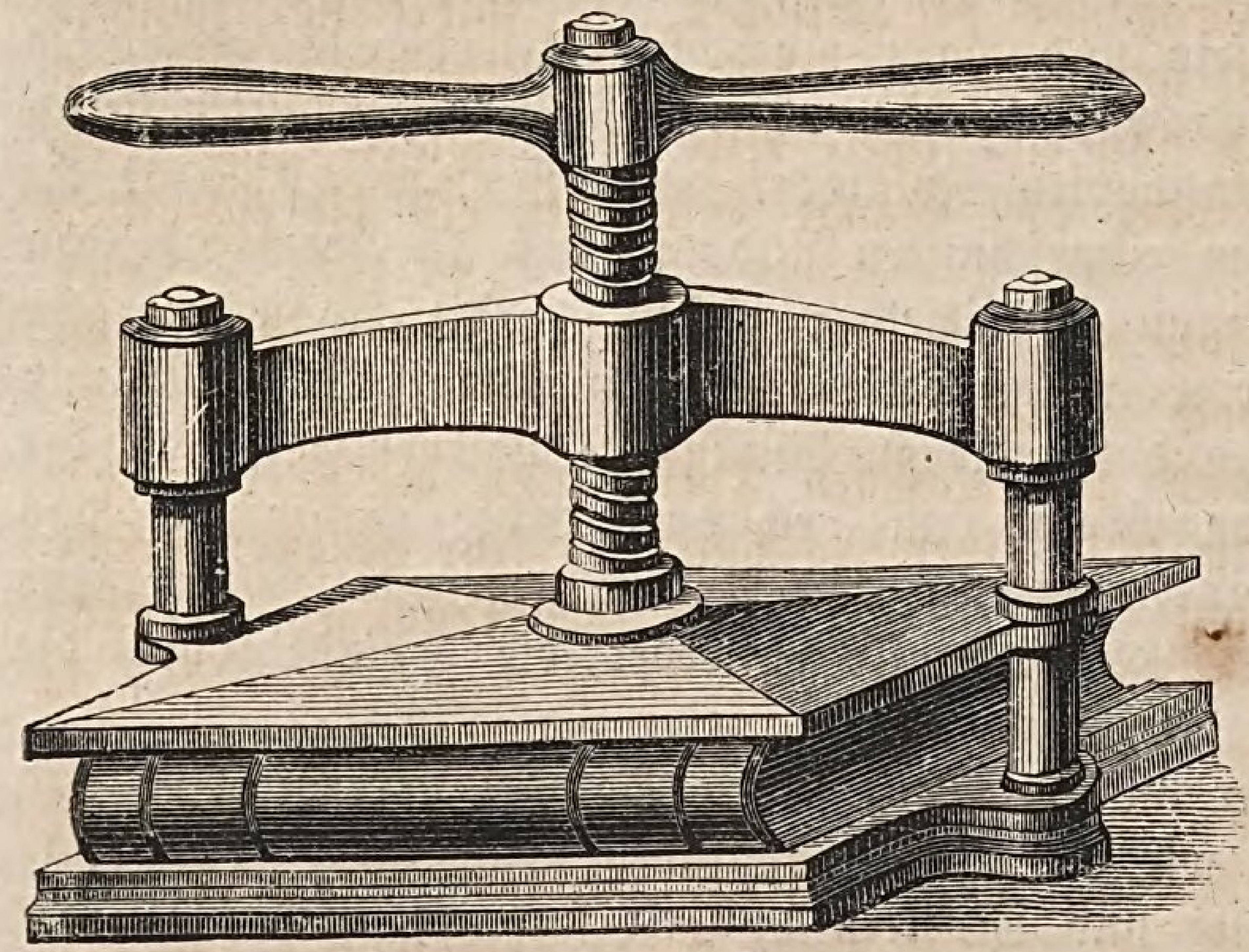
Fig. 64.



Solche Vorrichtungen, bei denen die Spindel in einer feststehenden Mutter gedreht wird und dadurch einen Druck nach unten, zuweilen auch nach oben ausübt, giebt es unter dem Namen Schraubenpressen in sehr mannichfachen Formen und zu sehr verschiedenen Zwecken. Die Weinpresse, die alte Buchdruckerpresse sind bekannte Beispiele der Art. In Prägwerken ist die Kraftäußerung der Schraubenpresse dadurch ungemein hoch gesteigert, daß man bei ihr einen sehr langen, am äußern Ende noch stark belasteten Hebel anwendet. An einigen neuern eisernen Buchdruckerpressen ist der Schraubengang und die dazu gehörige Mutter so weit reducirt, daß vom ersteren nur ein Stück von ein paar Zoll Länge an der Spindel sitzt, das beim Umdrehen eine drei bis viermal längere Bahn hinansteigt. Hier liegt es ganz klar vor Augen, daß das Wesentliche an der Schraube die schiefe Ebene ist.

Wird die Spindel gedreht, während ihr keine fortgehende Bewegung gestattet ist, so muß sich die Mutter längs der Spindel hinschieben. Ein Beispiel der Art giebt die Zimmermannsschraube, der sog. Schraubensatz, der zuweilen statt der Winde gebraucht wird. Hier hängen die Schrauben mit der untern Schwelle a so zusammen, daß sie in ihr drehbar sind; in der Schwelle b sind die Schraubenmuttern eingeschnitten und sie dient als Träger der zu hebenden Last, die in ihrer Mitte ruhen muß, damit beide Spindeln gleichviel zu tragen haben. Denkt man sich nun b auf a aufliegend und es werden die Spindeln so gedreht als sollten sie sich durch b hindurchwinden, so wird, da sie an a Widerstand finden, natürlich b sich heben, bis es an die Spindelköpfe anstößt. Die Entfernung zwischen a und b ist dann die Hubhöhe, bis zu welcher dieses Hebezeug überhaupt gebraucht werden kann.

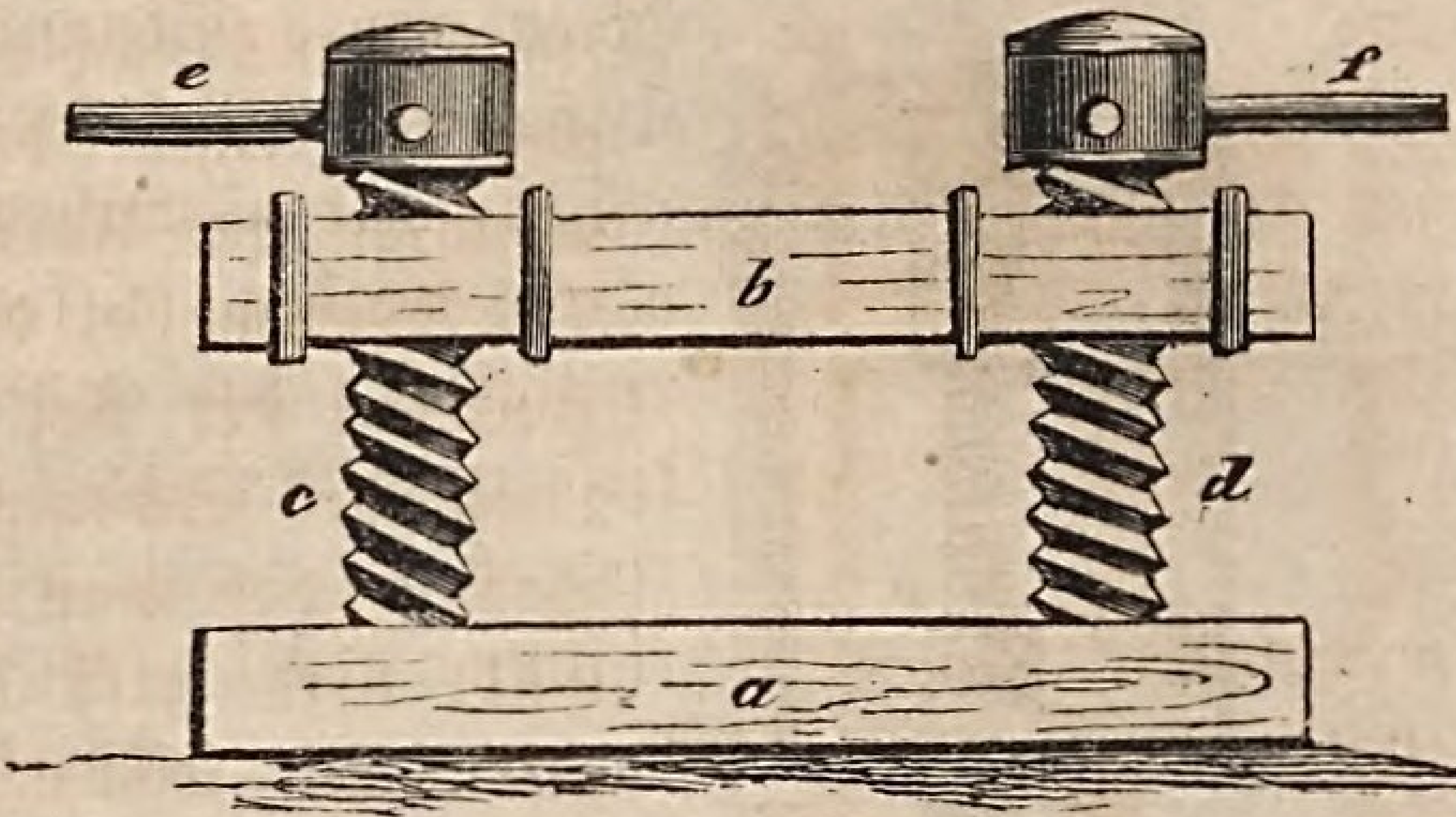
Fig. 65.



Natürlich ist bei allen diesen Einrichtungen die Bewegung von Schraube und Mutter immer dieselbe und es kann nur Ein Verhältniß zwischen ihnen geben. Welches von beiden Stücken als ruhend anzusehen sei, hängt lediglich von den Umgebungen ab, in die sie versetzt sind. Ein Punkt auf der Spindel und

ein Punkt auf der Mutter entfernen sich, wenn in dem einen, und nähern sich, wenn in dem andern Sinne gedreht wird. Läßt man die Kraft von diesen Punkten aus auf andere Körper wirken, so daß sie der Bewegung folgen müssen, so werden sie im letztern Falle zusammen-, im erstern auseinandergedrängt werden. So erscheint die Wirkung der Schraube bald als Pressung, bald als Hub oder als beides zugleich.

Fig. 66.



Die Schraube wird bekanntlich in sehr vielen Fällen gebraucht, um einzelne Stücke von Geräthen oder Maschinen unter einander in feste Verbindung oder Stellung zu bringen und gewährt den Vortheil, daß solche Verbindungen oder Stellungen sich leicht wieder trennen oder abändern lassen. Die Schraube erscheint dann als Schraubenbolzen, Klemm- oder Stellschraube 2c. Ist hierbei zu ihrer Handhabung ein Hebel nöthig, so ist derselbe in der Regel nicht mit dem Kopf der Spindel oder der Mutter in fester Verbindung, sondern wird nach Bedarf angesetzt und wieder entfernt; solche Hebel heißen dann Schraubenzieher und Schraubenschlüssel.

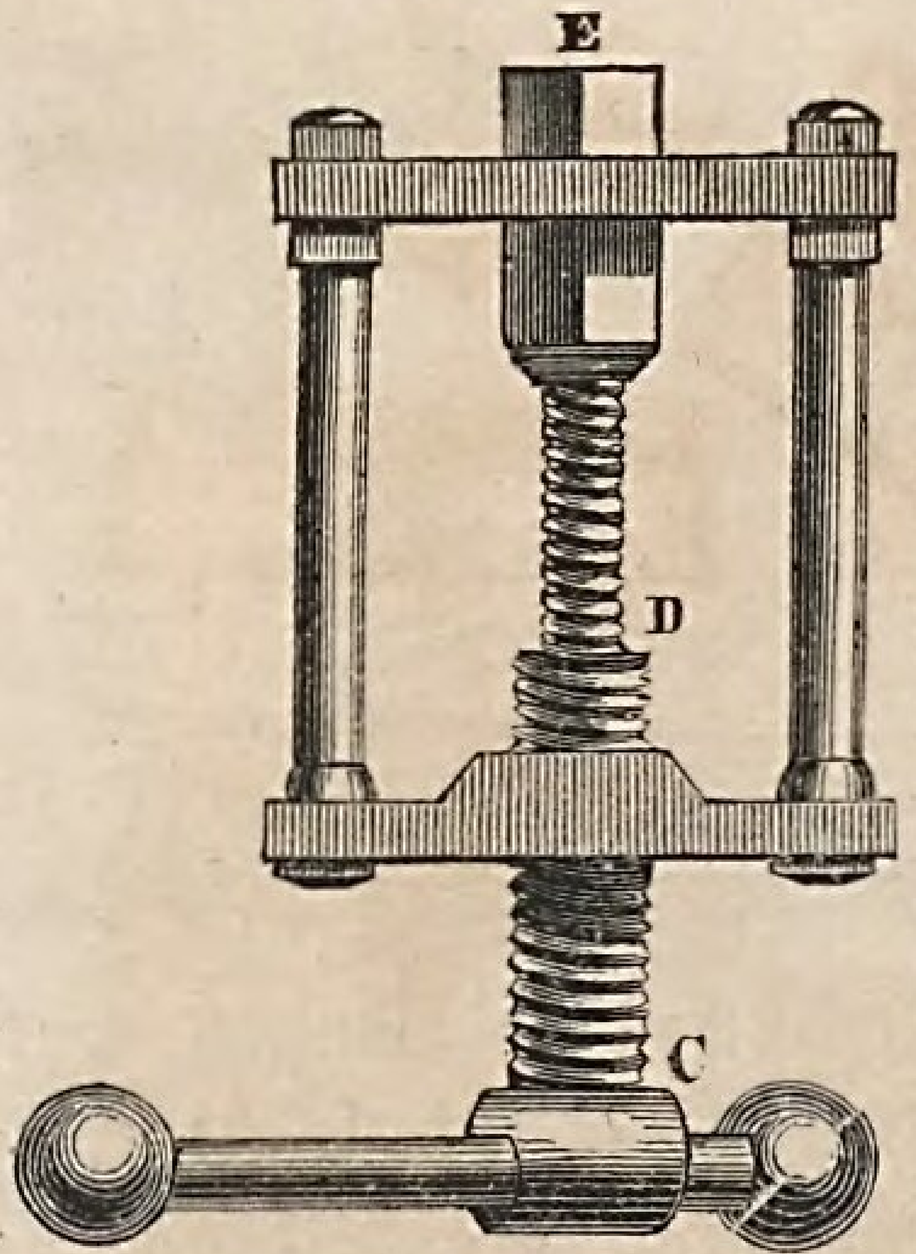
Ist die Höhe der Schraubengänge beträchtlicher, so findet sich zwischen den einzelnen Windungen Raum, um noch eine oder zwei Windungen zwischenzulegen, und die Schraube wird nun eine zwei- resp. dreigängige. In diesem Falle bilden denn auch die zwei oder drei Gänge zusammen erst die eigentliche Höhe des Schraubenganges.

In verfeinerter Form, wo die Schraube nicht mehr zu großen Kraftäußerungen dienen kann, leistet sie doch in anderer Hinsicht große Dienste, indem sie vermöge ihrer sehr langsamen und gleichmäßigen Fortrückung an einer großen Zahl wissenschaftlicher Instrumente und feiner Maschinen zu sehr genau bestimmten und ins Feinste gehenden Einstellungen, Theilungen und Messungen gebraucht wird. Schon mittelst einer gewöhnlichen Schraube kann man einen Zoll in 5000 gleiche Theile theilen; die feinen Schrauben von gehärtetem Stahl, sog. Mikrometerschrauben, leisten noch Außerordentlicheres: man hat mittelst derselben schon im Raum einer Linie 5000 Theilstriche gezogen. Solche Striche, in blanken Stahl eingerissen, sind mit bloßem Auge völlig unerkennbar und verursachen nur, daß die Metallfläche in bunten Farben spielt.

Wir erwähnten schon der beiden Mittel die Kraft der Schraube zu verstärken: die Verlängerung des Hebels und die Vermehrung der Windungen in einem gegebenen Raume; beides läßt sich, wie wir sahen, in der Praxis nur innerhalb gewisser Grenzen durchführen. Es bietet sich indeß noch ein Auskunftsmittel in der sog. Differentialschraube. Das Princip derselben besteht in der Anwendung zweier Spindeln mit verschiedener Höhe der Schraubengänge, welche so zusammenwirken, daß während die Schraube mit der größern Steigung die Last um den Betrag dieser Steigung fortschiebt, die andere sie um den Betrag ihrer

kleinern Steigung zurückzieht. Es entspricht somit der wirkliche Effect nur der Differenz zwischen der Höhe der beiden Schraubengänge, und die zusammengesetzte Schraube wirkt demnach ganz so wie eine einfache, deren ganze Steigung nicht größer wäre als eben diese Differenz. Bei dieser würde man aber an der Grenze stehen bleiben müssen, wo die Gewinde nicht feiner gemacht werden dürfen, während man es bei der Differentialschraube in der Gewalt hat, durch beliebige Verkleinerung der Differenz weit über diese Grenze hinaus zu gehen, worin eben der mögliche Nutzen dieser Einrichtung besteht. Fig. 67 zeigt eine Form dieser Schraube. C D ist die größere Schraube, die ihre Mutter in dem untern Querstück hat; D E ist das zweite Schraubenstück, das sich wegen des vierkantigen, durch den obern Querbalken gehenden Ansatzes nicht um seine Axe drehen kann. Das Stück C D ist hohl und mit einer Mutter zur Aufnahme der obern Schraube versehen. Bewegt sich nun die untere Schraube nach oben, so steigt die obere niederwärts, und wenn die Höhe beider Schrauben gleich wäre, so würde natürlich der Effect Null sein; da aber, wie wir wissen, die untere Schraube rascher steigt als die obere sinkt, so ist der Effect in der Richtung von E so groß als der Unterschied beider Gewinde.

Fig. 67.



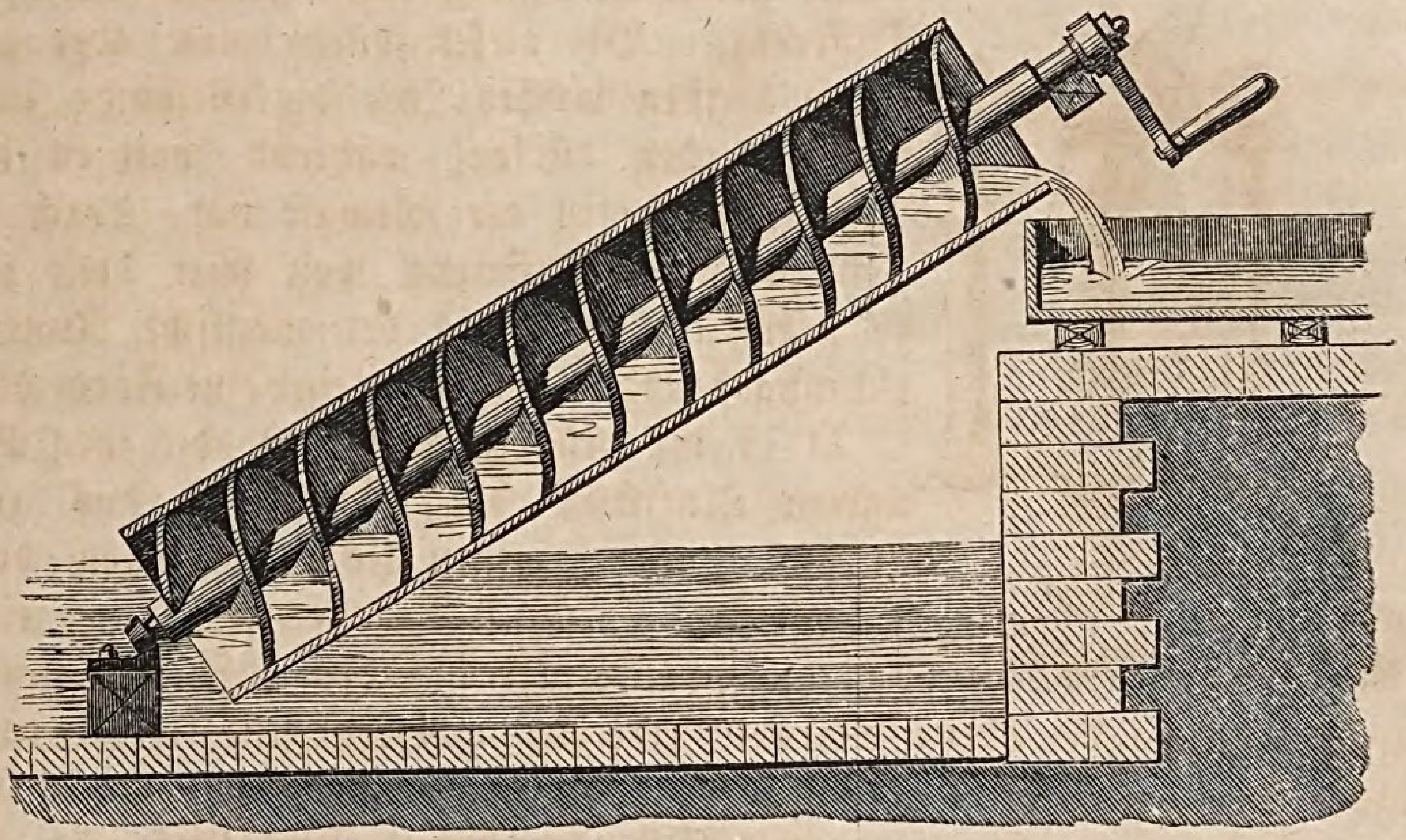
Das Princip der Differentialbewegung kommt auch in einer etwas abgeänderten Form in Anwendung. Hier besteht die Spindel aus Einem Stück, das aber in der einen Hälfte seiner Länge einen stärkern Umfang hat als in der andern. Auf beide Abtheilungen sind Schraubengänge geschnitten, der eine von geringerer Steigung als der andere. Auf jedem Theile sitzt eine Mutter, die sich in Führungen in der Richtung der Spindelaxe hin und herbewegen, aber nicht um die Spindel drehen kann. Wird nun die Spindel einmal umgedreht, so ist nach dem Bisherigen einleuchtend, daß beide Muttern dadurch um so viel näher gebracht resp. von einander entfernt worden sind als eben die Differenz in der Höhe der beiden Schraubengänge besagt. Es ist diese Einrichtung für Mikrometerschrauben sehr empfohlen worden, da sie sehr kleine Fortrückungen gestattet, ohne daß die Schrauben besonders fein gearbeitet zu sein brauchen.

Wir sahen bisher die Kraft von dem Hebel auf die Schraube übergehen; es kann aber auch die Schraube auf einen einfachen oder auf einen continuirlichen Hebel, also ein Rad wirken und dadurch eine große Kraftäußerung gewonnen werden, weil in solchem Falle immer eine schnellere Bewegung in eine langsamere verwandelt wird. Wir wollen aber diese schon zusammengesetztere Vorrichtung (endlose Schraube) lieber weiter unten mit den übrigen Mitteln zur Bewegungsveränderung betrachten und hier nur über die Wasserschraube oder Schnecke noch Einiges beibringen.

Diese von Archimedes erfundene und nach ihm benannte Form der Schraube findet ihre Anwendung, wo es sich darum handelt, Wasser auf eine mäßige Höhe zu heben. Die Schraube, in der Abbildung eine doppelgängige, liegt in

Zapfenlagern und ist mit einem fest aufsitzenden Mantel rings umgeben, der in der Darstellung zur Hälfte weggelassen ist. Die Wirkung der Wasserschraube ist ganz einfach. Wird dem Systeme eine halbe Umdrehung gegeben, so ist schon eine Portion des unten frei eintretenden Wassers von der übrigen Wassermasse abgeschnitten und hat keine Gelegenheit wieder zurückzufließen, sondern gelangt, da es immer die tiefste Stelle zwischen zwei Windungen einnimmt, nach einer der Zahl der Windungen entsprechenden Zahl von Umdrehungen nach oben an die Stelle des Ausflusses. Die Schraube ist hier durch den überall an die Windungen anschließenden Mantel gleichsam in ein Schlangenrohr verwandelt, in dessen Windungen Luft- und Wasserportionen mit einander abwechseln. Es ist diese Zugabe zur Schraube indeß, obwohl nützlich, doch nicht wesentlich; es giebt eine andere nicht selten gebrauchte Form der Wasserschraube, wobei diese sich frei in einer ihrem Umfange entsprechenden halbrunden Rinne dreht. Das Steigen oder vielmehr Fortgeschobenwerden des Wassers findet hier ganz in der vorigen Weise statt, nur daß immer etwas Arbeit verloren geht, weil mehr oder weniger Wasser zwischen den Kanten der Schraubengänge und den Wänden des Gerinnes wieder nach unten entweicht.

Fig. 68.



Die Wasserschraube, kann man wohl sagen, bringt das Wasser in derselben Weise in die Höhe, wie der zurück gedrehte Schraubenbohrer die Bohrspähne. Auch benutzt man in der That die Schraube in der Rinne zuweilen in Mühlen u. a. Fabriken, wenn auch nicht zum Heben, doch zum horizontalen Fortschieben pulverförmiger Massen.

In neuerer Zeit hat die Schraube bekanntlich eine besondere Wichtigkeit als Bewegungsmittel für Dampfschiffe erlangt. Sie liegt hierbei unter dem Hintertheil des Schiffes ganz unter Wasser und ihre Spindel geht durch eine genau schließende Oeffnung ins Innere, wo sie von der Dampfmaschine die drehende Bewegung empfängt. Das Wasser bildet also hier gleichsam die Schraubenmutter, in welcher die Schraube sich fortwinden soll. Als bewegliches Element kann es natürlich nicht den vollen Widerstand eines festen Körpers leisten und es wird sowohl seitlich als rückwärts theilweise dem Drucke weichen, so daß

immer ein gewisser Theil der ursprünglichen Kraft verloren geht; doch bleiben wohl noch $^2/_3$ — $^3/_4$ der ganzen Kraft nutzbar, was hinreichend ist zum Forttreiben des Schiffes. Der Druck der Schraube gegen das Wasser geschieht natürlich vermöge der schiefen Flächen ihrer Windungen und von deren Formen hängt also ihre Wirksamkeit ab. Ist die Steigung zu groß, so geht zu viel Kraft seitwärts verloren, denn auch hier zerlegt sich die Kraft in zwei Kräfte, deren eine parallel zur Axe, die andere senkrecht auf dieselbe gerichtet ist; ist die Höhe der Schraube dagegen sehr gering, so vermindert sich zwar der Seitendruck, aber die Zahl der Umdrehungen der Welle muß außerordentlich vermehrt werden, um aus den einzelnen kleinen Wirkungen eine Gesammtwirkung zu machen. Auch gerade hinterwärts geht ein Theil der Kraft verloren, da das Wasser auch nach dieser Richtung hin dem Drucke bis zu einem gewissen Grade nachgiebt. Alle Kraftverluste zusammen nennt man den Rücklauf der Schraube.

Fig. 69.

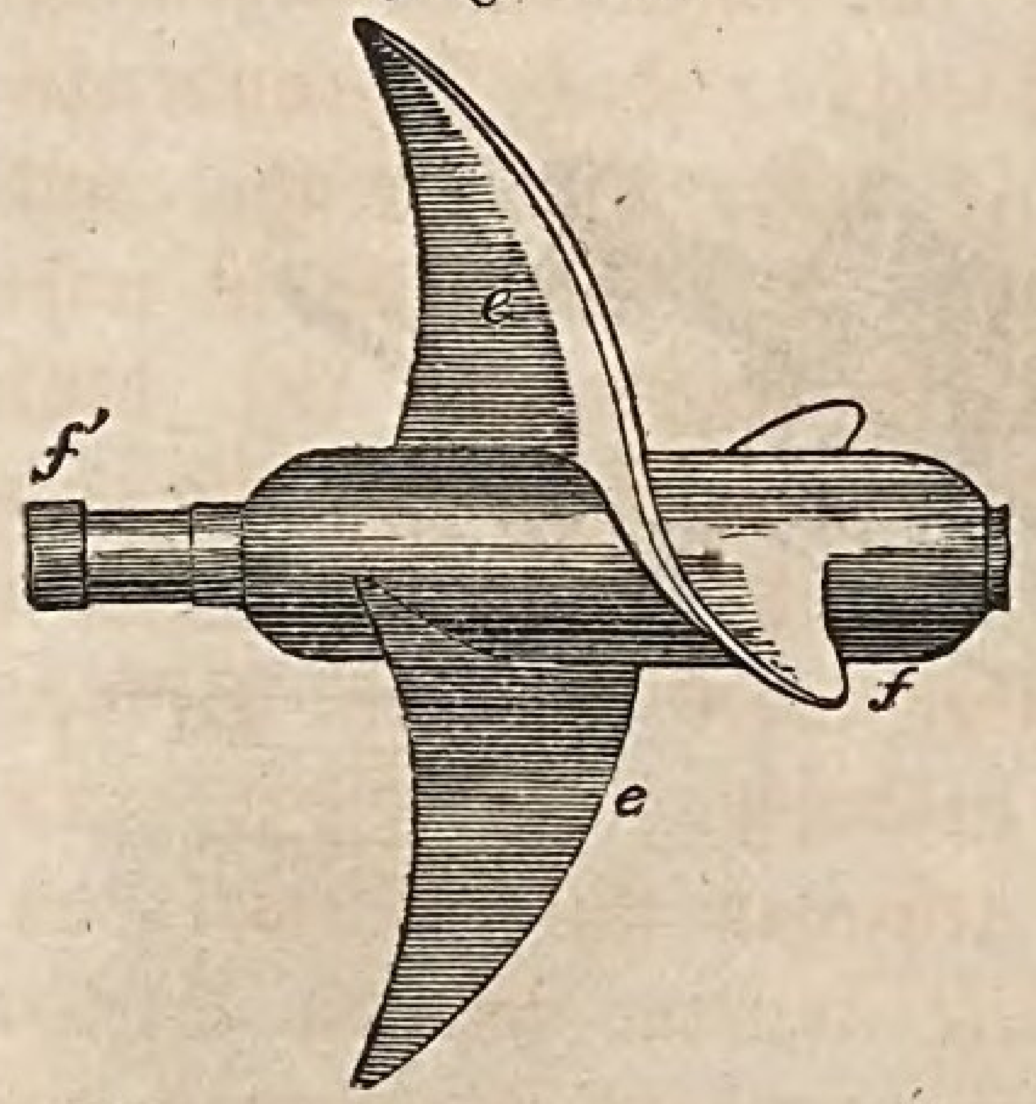
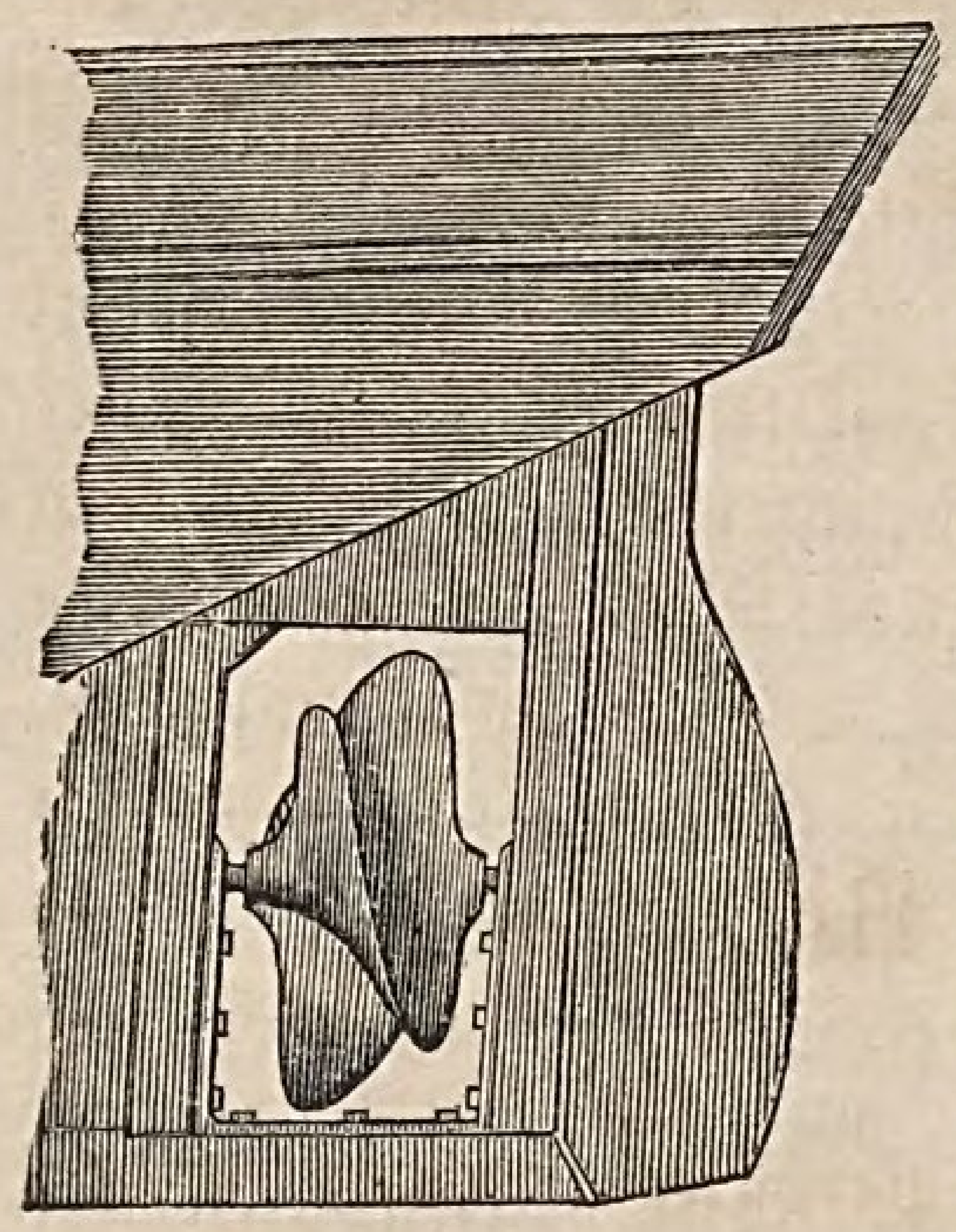
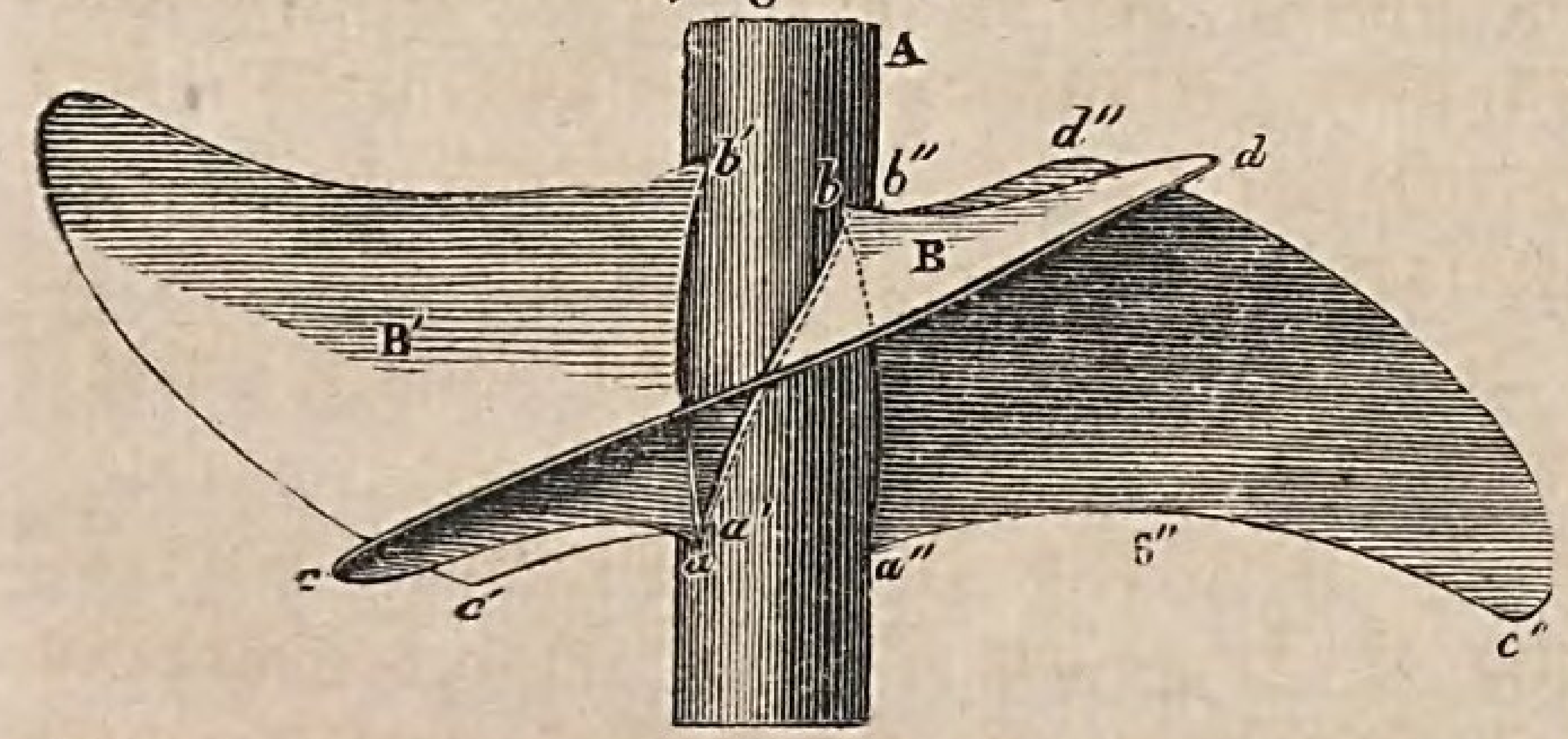


Fig. 70.



Die Formen der Wasserschraube sind seit ihrer Aufnahme in die Schifffahrt äußerst zahlreich geworden, ohne daß eine derselben schon jetzt für die unbedingt beste gälte. Viele wissenschaftliche Untersuchungen und praktische Versuche sind auf diesen Gegenstand verwendet worden, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann. Wir wollen daher als Beispiele nur 3 Schraubenformen geben und einige allgemeinere Bemerkungen daranknüpfen. Da nur aus dem Drucke auf das freie Wasser ein Nutzeffect hervorgehen kann, so würden mehrere Windungen hintereinander mehr stören als fördern, und daher gab man der Schiffsschraube nur eine Windung, und diese selbst erhielt mancherlei Formen. Man theilt sie in 2, 3 oder 4 Stücke und setzt diese nicht hintereinander auf die ihnen entsprechende Schraubenlinie, sondern nebeneinander auf einen Umkreis der Welle, wodurch die Schraube bei gleichem Effect kürzer wird. Die Schraubenflächen reichen entweder überall bis an die Spindel oder nicht. Die größte Wirkung wird nämlich durch die äußersten Ränder der Flügel hervorgebracht werden, weil hier die größte Geschwindigkeit stattfindet.

Fig. 71.



Die nahe an der Spindel liegenden Partien wirken dagegen bei großer Geschwindigkeit mehr hindernd als fördernd, und deshalb hat man sie zuweilen

theilweise ausgeschnitten, wodurch freilich wieder die Dauerhaftigkeit der Schraube beeinträchtigt wird. Es kommt bei dem breitflügligen Bau der Schiffsschraube ein Umstand mit in Betracht, der zwar der Schraube im Allgemeinen eigen ist, der sich aber hier besonders geltend macht. Die Steigung des Schraubengewindes ist nämlich am äußern Rande eine andere als nahe der Spindel und der Unterschied wächst mit der Breite der Gewindefläche. Die Steigung ist nahe der Spindel am größten und nimmt gegen den äußern Rand hin ab; denn wenn die Schraube durch einmalige Umdrehung so weit fortgerückt ist, als eben ihr Gewinde ergiebt, so haben sämmtliche in ihr liegende Punkte an dieser Fortrückung gleichmäßig Theil genommen; dabei haben aber die der Spindel nahe liegenden Punkte des Gewindes kleinere Kreise beschrieben als die entferntern, mußten also, da sie auf gleiche Höhe mit jenen gestiegen sind, steilere Bahnen beschreiben. Nun tragen aber, wie bemerkt, diese innern steileren Stellen wenig oder nichts zum Forttreiben des Schiffes bei, sondern verwenden fast alle Kraft zum seitlichen Wegtreiben des Wassers von der Spindel. Uebrigens wird auch sonst bei Berechnung der Schraube dem berührten Umstande dadurch Rechnung getragen, daß man den Umfang der Spindel nicht über die äußern Ränder des Gewindes mißt, sondern die Peripherie durch die Mitte der Vorsprünge zieht und hiernach die Steigung berechnet. — Die Zahl der Umdrehungen der jetzt gebräuchlichen Schiffsschrauben ist per Minute 100 — 180.

IV.

Von den Widerständen der Bewegung.

Wie wir schon mehrmals andeuteten, sind die Verhältnisse zwischen Kraft und Last, wie sie sich bei Betrachtung der einfachen Maschinen ergeben, nur theoretisch richtig, da man hier, um die möglichst einfachen Resultate zu erhalten, die Widerstände außer Acht läßt, die sich in der Wirklichkeit fast jeder Bewegung entgegenstellen. Diese Widerstände, welche mit überwunden werden müssen, erfordern immer einen größern oder geringern Kraftzuschuß, oder, was dasselbe ist, bei jeder mechanischen Vorrichtung ist der Effect allemal kleiner als die hineingewandte Kraft. Das hauptsächlichste Bewegungshinderniß bildet die Reibung; zu ihr gesellen sich noch der Widerstand des Mediums (Wasser oder Luft) und die Steifheit der Seile.

Reibung entsteht entweder durch ein wirkliches Zusammenhaften zweier sich nahe berührenden Körper oder auch nur in Folge der Rauheit ihrer Oberflächen. Auch die feinsten Flächen haben noch Unebenheiten, die sich geltend machen, wenn eine Fläche über die andere hingezogen wird. Die gegenseitigen Erhöhungen und Vertiefungen greifen in einander ein und müssen durch die Bewegung ent-

weder abgerissen oder zusammengedrückt, oder der gleitende Körper muß über sie hinweggehoben, gleichsam über schiefe Flächen gezogen werden; in allen Fällen gehört zur Ueberwindung der Hindernisse eine Kraft, welche einem gewissen Theile der Last gleich ist. Das Verhältniß dieses Kraftantheils zur ganzen Kraft und Last und die Zahl, die es ausdrückt, heißt der Reibungscoefficient. Er ist nach der Natur der in Frage kommenden Materialien sehr verschieden und kann nur durch Versuche bestimmt werden.

Die Größe der Reibung kann man entweder auf einer geneigten oder horizontalen Fläche bestimmen. Legt man einen Körper auf ein Bret oder dgl. und hebt dessen eine Seite allmälig höher, so wird der Körper bei einem gewissen Neigungsgrade hinabrutschen. Der größte Winkel, unter welchem der Körper eben noch liegen bleibt, heißt der Winkel der Ruhe; er giebt den Maßstab für die Größe der Reibung, die zwischen der Fläche und dem Körper stattfindet. Ist das Gewinde einer Schraube so steil, daß dieser Ruhewinkel überschritten ist, so springt sie wieder auf, nachdem sie gewaltsam niedergeschraubt wurde; eben so beruht die Form, welche Hügel oder Haufen von Sand, Kies, Erde u. dgl. annehmen, auf demselben. Man kann diese Prüfungen besser noch auf horizontalen Flächen vornehmen, indem man dem Körper die gleitende Bewegung durch ein über eine Rolle laufendes Gewicht ertheilt. Die Größe des Gewichts, das erforderlich ist, den Körper, nachdem er in Bewegung gesetzt ist, in unverminderter Bewegung zu erhalten, zeigt unmittelbar den Grad der Reibung an; denn diese ganze Kraft ist lediglich zur Ueberwindung der Reibung verwendet worden.

Die Hauptresultate der Versuche über die Reibung sind nun kürzlich folgende. 1) Die Reibung ist im allgemeinen immer dem zwischen den Körpern stattfindenden Drucke proportional. Verdoppelt man demnach die über die Versuchsfläche zu ziehende Last, so muß auch, unter übrigens gleichen Umständen, die ziehende Kraft verdoppelt werden. 2) Die Größe der reibenden Flächen hat bei gleichbleibender Belastung keinen Einfluß auf die Größe der Reibung; sonach wird ein Balken mit zwei breiten und zwei schmalen Flächen beim Fortziehen in jeder Lage gleichen Reibungswiderstand leisten. Dies scheint für den ersten Moment auffallend, indem man meinen sollte, die Reibung müsse größer werden, wenn größere Flächen auf einander reiben, da in diesem Falle die Zahl der Berührungspunkte eine größere ist. Ueberlegt man indeß, daß sich dann auch die Last oder der Druck in demselben Verhältnisse auf mehrere Punkte vertheilt, daß er also an jedem einzelnen Punkte verhältnißmäßig schwächer werden muß, so verliert sich das Auffällige und der zweite Satz erscheint nur als eine aus dem ersten gezogene Folgerung. Was indeß die aus der Reibung resultirende Abnützung anlangt, so muß dieselbe natürlich um so schneller gehen, je kleiner bei sonst gleichen Umständen die Berührungsflächen sind. Uebrigens läßt sich auch der Satz 2 nicht auf alle möglichen Fälle ausdehnen und muß auf harte Körper beschränkt werden; bei weichen und faserigen Flächen nimmt allerdings mit der Größe der Flächen auch die Reibung zu. 3) Die Reibung bleibt bei jeder Geschwindigkeit, mit welcher die Körper über einander bewegt werden, dieselbe.

4) Die Reibung ist zu Anfang der Bewegung stärker und erfordert unter Umständen zu ihrer Ueberwindung beträchtlich mehr Kraft als im Fortgange. Bei harten Körpern, wie Metall und Stein, ist dieser Unterschied, besonders wenn keine Schmiere angewandt wurde, wenig bemerklich. Er zeigt sich aber auffallend bei nachgiebigern, also in einem gewissen Grade zusammendrückbaren Stoffen. Bei solchen kommt es selbst darauf an, ob die Berührung der zu trennenden Körper kürzere oder längere Zeit gedauert hat. Holz auf Holz erhält nach einer Berührung von 2—3 Minuten die größte Widerstandsfähigkeit; die längere Dauer der Berührung ist von keinem weitern Einfluß. Zwischen Holz und Eisen stellt sich das Maximum des Widerstandes erst in viel längerer Zeit ein. — Uebrigens lehrten die Versuche, daß die Reibung zwischen Körpern aus demselben Stoff unter gleichen Umständen etwas größer ist als zwischen Körpern verschiedener Natur. Wie schon bemerkt ist bei gleichem Druck die Größe der Reibung je nach der Natur der in Frage kommenden Körper sehr verschieden. Bei Eisen auf Eisen z. B. ist der Reibungscoefficient zu 0,277, also nahe 28 Procent angenommen. Wird demnach eine eiserne Schleife so belastet, daß das Ganze 100 Pfund wiegt, und dieselbe auf einer gleichfalls glatten eisernen Unterlage fortgezogen, so ist hierzu eine Kraft von $27^7/_{10}$ Pfund nöthig. Unter denselben Umständen ergiebt sich für Eisen auf Messing der Coefficient 0,263, Eisen auf Kupfer 0,170, Eichenholz auf seinesgleichen, wenn die Fasern beider Körper gleiche Richtung haben, 0,418, wenn sie sich kreuzen nur 0,273.

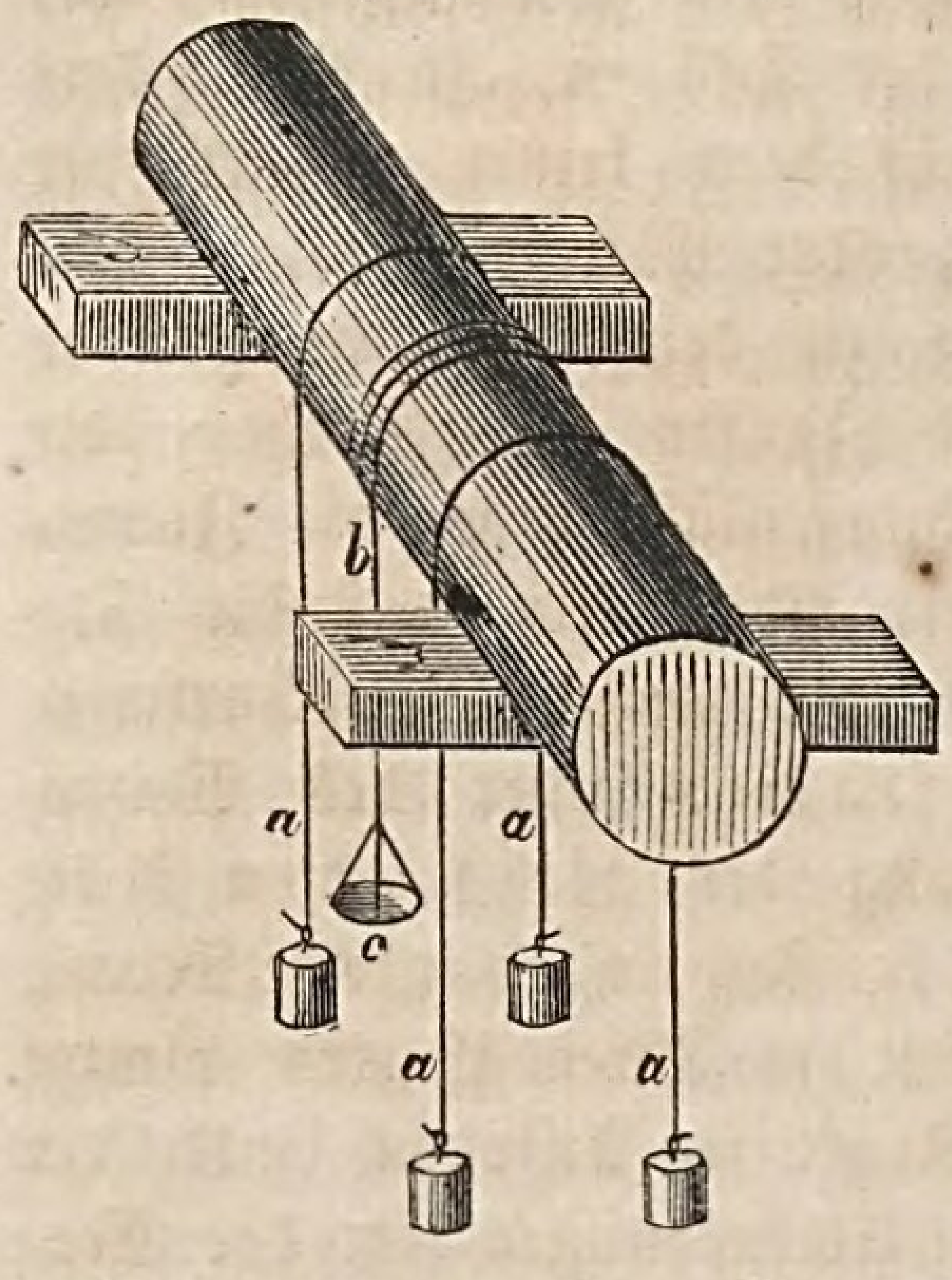
Wie die Ausdehnung der Flächen bei gleichbleibendem Druck keinen Einfluß auf die Größe der Reibung hat, so auch nicht die Geschwindigkeit der Bewegung, wenigstens was die in der Praxis vorkommenden Geschwindigkeiten betrifft; denn für außerordentliche Geschwindigkeiten fehlen hinreichende Erfahrungen. Dagegen muß die Summe der Reibung in einer Maschine bei vermehrter Geschwindigkeit allerdings wachsen; denn obwohl die Reibung gleich bleibt, ob ein Kolben 20 oder 40 Züge per Minute macht, so beträgt doch die Reibung des Kolbens im zweiten Falle das Doppelte.

Das bisher Gesagte bezog sich zumeist auf die gleitende Reibung, also auf die Fälle wo ein Körper sich längs eines andern bewegt. Die Reibung tritt aber auch bei rollender Bewegung auf, obwohl, wie die tägliche Erfahrung lehrt, in bedeutend geringerem Grade. Will man einen Cylinder auf einer glatten horizontalen Fläche fortrollen, so ist immer noch eine gewisse Reibung zu überwinden, also ein Kraftaufwand nöthig. Man kann annehmen, daß beide Körper an ihren Berührungsstellen sich nach Maßgabe des vorhandenen Drucks zusammendrücken, daß der Cylinder sich etwas abplattet, die Fläche sich etwas eindrückt und man so gleichsam den Körper eine sich beständig neu bildende schiefe Ebene hinaufzuschaffen hat. Bei den festesten Materialien muß sich diese Deformation am wenigsten bemerklich machen, und daher ist auch bei solchen die rollende Reibung sehr gering, bei eisernen Rädern auf eisernen Schienen z. B. so gering, daß sie für die Praxis außer Acht gelassen werden kann.

Um die Größe der rollenden Reibung zu ermitteln, legte der Franzose Coulomb, der in Bezug auf die Reibung überhaupt umfassende Untersuchungen

angestellt hat, hölzerne Cylinder auf wagrechte hölzerne Unterlagen, wie in Fig. 72, schlang eine Schnur herum und legte in die angehangene Schale so lange

Fig. 72.



Gewichte, bis der Cylinder sich zu drehen anfing. Andere Schnuren a a mit gleichen Gewichten an ihren Enden dienten zur Verstärkung des Druckes. War nun z. B. das Gewicht des Cylinders mit seiner Belastung 100 Pfund, so mußte $1^6/_{10}$ Pfund Uebergewicht aufgelegt werden um die Drehung hervorzubringen. Wurde die Belastung verdoppelt oder noch weiter vervielfacht, so mußte das Uebergewicht in demselben Maße vervielfältigt werden, und es zeigte sich also, daß auch für die rollende Reibung das Gesetz gilt, daß die Reibung dem Drucke proportional ist. Die Kraft, welche den Cylinder zu drehen strebt, zieht augenscheinlich an einem horizontalen Hebel, dessen Länge dem Halbmesser des Cylinders gleich ist. Es läßt sich nun erwarten und die Erfahrung hat es bestätigt, daß wenn man den Zug oben am Cylinder anbringt, indem man die Schnur über eine mit dem Cylinder gleich hoch liegende Rolle laufen läßt, letzterer mit der halben Kraft gedreht werden kann, da der Hebel, an welchem der Zug wirkt, nun dem ganzen Durchmesser desselben gleich ist. Es kann also nicht gleichgültig sein, welchen Durchmesser der zu drehende Körper hat, und in der That fand Coulomb durch Versuche mit Walzen von verschiedener Dicke, daß die Reibung auf die Hälfte, das Drittel 2c. ihrer früheren Größe herabsank, wenn der Durchmesser um das Doppelte, Dreifache 2c. vergrößert wurde. Es steht somit die Reibung mit dem Durchmesser des rollenden Körpers in umgekehrtem Verhältniß, was schon durch die bekannte Thatsache seine Bestätigung findet, daß hohe Räder einem Fuhrwerke eine leichtere Beweglichkeit verleihen als niedrige.

Zur möglichsten Verminderung der Reibung, da wo sie nachtheilig ist, dienen verschiedene Mittel, die je nach Umständen einzeln oder in Mehrzahl angewandt werden. Es sind:

1) Glätten der reibenden Flächen. Ein gewisser Grad von Glätte oder Politur vermindert in allen Fällen die Reibung und kann bei der rollenden mit steigendem Nutzen so hoch als möglich getrieben werden; wo aber auf einander gleitende Flächen eine größere Ausdehnung haben, wirkt eine hohe Politur nachtheilig, weil dann die sog. Adhäsion ins Spiel kommt, d. h. die Eigenschaft der Körper, aneinander zu haften, wenn sie sich sehr nahe und in sehr vielen Punkten berühren. Das feste Zusammenhängen zweier auf einander gelegten Spiegeltafeln giebt hierfür ein Beispiel. Möglicherweise ist auch der Luftdruck in dergleichen Fällen mit thätig. Die Glätte der Flächen wird in der Regel noch mittelbar dadurch gesteigert, daß man weiche Körper zwischen sie bringt, die ihre Unebenheiten ausfüllen. Hierauf beruht die Anwendung der verschiedenartigen Schmiermittel, wie Oele, Fett, Seife, Graphit u. s. w., deren größere oder

geringere Wirkung von ihrer Qualität und andern Umständen abhängt, so daß sich wenig Positives hierüber angeben läßt. Bei glatten geölten Eisenflächen, von denen das Oel wieder weggewischt war, fand sich meistens eine Reibung von $^1/_{10}$ der Last; bleibt aber eine dünne Schicht Oel oder Schmiere zwischen den Flächen, wie dies in der Regel bei Maschinen der Fall ist, so vermindert dies die Reibung bis auf $^1/_{30}$ — $^1/_{40}$ und es macht dann keinen wesentlichen Unterschied mehr, ob die reibenden Körper von Holz oder Metall sind.

2) Anwendung verschiedenartiger Stoffe zu den in Reibung kommenden Körpern. So macht man z. B. Axen und Zapfen aus Stahl, ihre Pfannen oder Lager aus Messing; bei feinen Maschinen läßt man die Zapfen häufig in Edelsteinen laufen u. s. w., alles dies, weil man weiß, daß die Reibung zwischen ungleichartigen Materialien geringer ist als zwischen gleichartigen.

3) Verkleinerung der reibenden Oberflächen oder des Weges, auf welchem die Reibung stattfindet. 4) Verwandlung der gleitenden Reibung in eine rollende, eines der wirksamsten und am meisten angewandten Mittel.

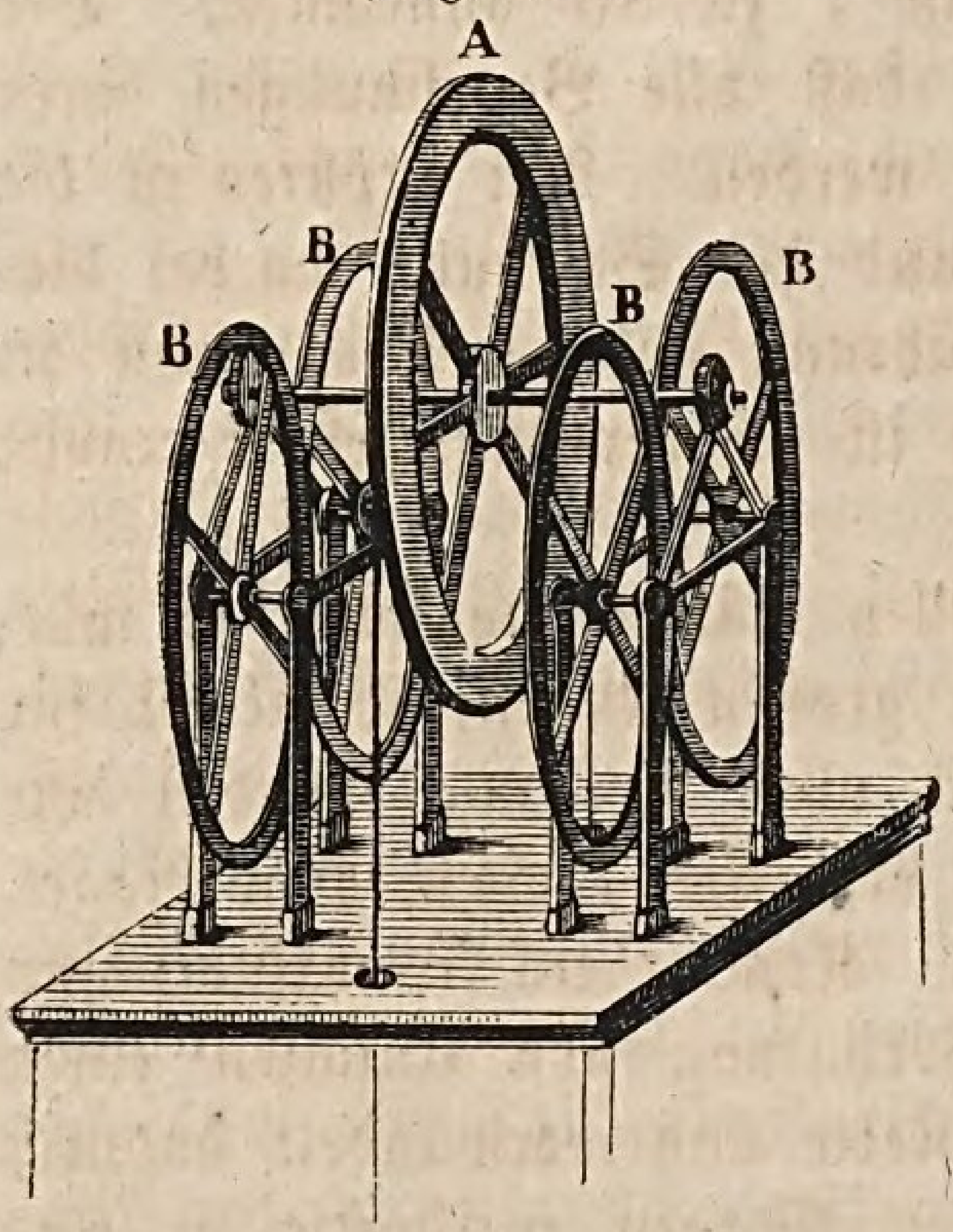
Die Axenreibung oder die Reibung der Zapfen in ihren Lagern nimmt in Maschinen immer einen ziemlichen Antheil von Kraft in Anspruch und der Kraftverlust summirt sich um so höher, je schnellere Umdrehungen in der Maschine vorkommen. Da die Zapfen sich nicht aus ihrer Stelle bewegen können, so ist ihre Reibung keine rollende, sondern eine gleitende. Sie wird um so geringer ausfallen, je kürzer der Weg ist, auf dem sie sich äußert. Man nimmt daher den Durchmesser der Zapfen so klein, als es sich mit der nöthigen Haltbarkeit der Zapfen irgend verträgt; eine weitere Abminderung wird sodann durch ein gutes Schmiermittel beschafft, wodurch die ursprüngliche Reibung unter Umständen auf die Hälfte und noch weiter herabgebracht werden kann. Daher sind bei raschen und zahlreichen Umdrehungen, wie an Eisenbahnwagen, die selbstwirkenden Schmiervorrichtungen von Wichtigkeit; sie sorgen für ununterbrochene Zuführung der Schmiere und verhindern deren Verderben durch Luft und Staub.

Auf der Verwandlung der gleitenden Reibung in eine rollende beruhen eine Menge Einrichtungen in der Mechanik wie im gewöhnlichen Leben. Die Frictionsrollen u. A. haben diesen Zweck. Sie begegnen uns schon im häuslichen Leben und erfordern daher keine besondere Beschreibung. Im Maschinenwesen finden sie mannichfache Anwendung, wo es sich darum handelt, die Reibung zu vermindern, so wo Hebel sich begegnen u. s. w. Die Walzen, die man unter schwere Lasten legt, um sie leichter fortschaffen zu können, und endlich die Räder aller Fuhrwerke wirken in dem nämlichen Sinne. Während Walzen und Räder nur auf einer Richtungslinie unmittelbar wirksam sein können und wenn dieselben verlassen werden soll, besondere Vorkehrungen erheischen, gewähren untergelegte Kugeln den Vortheil, daß man auf ihnen der Last jeden Augenblick eine andere Richtung geben kann; man benutzt sie daher zuweilen statt der erstern, namentlich bei Eisenbahndrehscheiben, wo sie einen Kreis zu durchlaufen haben.

Eine sinnreiche und wirksame Vorrichtung zur Verminderung der Zapfenreibung bilden die sogenannten Frictionsräder, die vorzüglich bei feinen Maschinen, wie Chronometern u. dgl. in Anwendung kommen, wo Rädern oder Rollen

eine große Beweglichkeit gegeben werden soll. Dies Erforderniß tritt u. a. auch bei der schon beschriebenen Atwood'schen Fallmaschine auf, deren Rolle A so leicht beweglich sein soll, daß ihre Reibung auf die Resultate keinen merklichen Einfluß mehr hat. Man macht daher ihre stählerne Axe zunächst sehr dünn und legt sie dann statt in gewöhnliche Zapfenlager zwischen vier leichte Räder B, welche auf beiden Seiten so angebracht sind, wie es die Abbildung zeigt. Der obere Winkel, den jedes Räderpaar miteinander bildet, dient zur Auflage der beiden Zapfen. Die seitliche Verschiebung der Rolle wird durch die den feingespitzten Enden der beiden Axen gegenüberstehenden Aufhalter verhindert. Dreht sich nun die Rolle, so entsteht statt der gleitenden Reibung, die sie in gewöhnlichen Zapfenlagern erfahren haben würde, eine rollende, also bedeutend geringere; die Zapfen der Rolle ertheilen den vier Rädern durch die rollende Berührung eine langsame drehende Bewegung, und eine gleitende Reibung findet jetzt nur noch in den Zapfen dieser vier Räder statt, wo sie aber fast unmerklich wird, einestheils weil diese sich äußerst langsam und zwar so viel mal langsamer drehen als ihr Durchmesser größer ist als der der Rollzapfen, und anderntheils weil der Druck der Rolle und ihre Belastung, statt auf nur zwei Zapfen zu wirken, jetzt auf acht vertheilt ist.

Fig. 73.



Wie man leicht sieht, wirken alle Vorrichtungen zur Erzeugung einer rollenden Bewegung als Hebel und ihr Effect beurtheilt sich nach den uns hierüber bekannten Gesetzen. Auf den höchsten Rädern, den dicksten Walzen wird sich eine gegebene Last am leichtesten bewegen lassen, weil hierbei längere Hebelarme ins Spiel kommen. Selbst wenn die vermittelnden Körper nicht mehr völlig rund sind, also keine vollkommenen continuirlichen Hebel bilden, ist noch ein Theil des Effects vorhanden. Eine schwere Platte ist leichter beweglich auf einer Fläche, die mit Sand bestreut ist; denn wenn auch die einzelnen Sandkörner wenig von der Kugelform an sich haben mögen, so bieten sie doch eine Menge einzelner kleiner Hebel dar, die die Bewegung erleichtern, gerade wie man mit einem Fuhrwerk, an dem die Radfelgen abgeschlagen sind, immer noch besser fährt als wenn man es ohne alle Räder auf dem Boden fortziehen wollte.

Obwohl die Reibung bei allen einfachen Maschinen vorkommt, so ist sie doch, wie schon eine oberflächliche Betrachtung lehrt, nicht bei allen gleich groß; sie ist am kleinsten da, wo die geringsten Berührungsflächen vorkommen. Dies ist der Fall beim Hebel, der sich der Theorie nach nur um einen Punkt bewegt und auch in der Wirklichkeit nur eine sehr kleine Fläche für die Reibung darbietet. Bei der Rolle findet Reibung sowohl am Seile und am Umkreise der Scheibe, als in den Zapfen statt. Die Minderungsmittel sind möglichst große Rollen, möglichst schwache Zapfen und recht biegsame Seile. Dasselbe gilt vom

Rade an der Welle, das hinsichtlich der Reibung der Rolle am nächsten steht, nur daß seine oft große Eigenschwere dieselbe noch vermehrt. In einer Verbindung von Rollen, die nach der Berechnung die Kraft von 1 auf 120 steigern, kann man der Reibung halber nur das Verhältniß 1 zu 80 annehmen. Die Reibung auf der schiefen Ebene ist so bedeutend, daß alle Berechnungen ihrer mechanischen Vortheile dadurch wesentlich modificirt werden. Am größten ist die Reibung, wie wir schon hervorgehoben, beim Keil und der Schraube, da bei diesen alle bewegenden Flächen in durchgängiger Berührung stehen. Sie wächst an der Schraube mit der Höhe ihres Gewindes, und ist an der endlosen Schraube weitaus am stärksten.

Die Reibung ist indeß keineswegs ein in allen Fällen möglichst zu mindernder Uebelstand, sondern sie hat auch oft ihren großen Nutzen, ja sie ist für unser ganzes Dasein geradezu unentbehrlich, denn ohne Reibung würden wir uns gar nicht von der Stelle bewegen, nichts fest ergreifen können, kein Nagel, keine Schraube, kein Knoten würde halten u. s. w. Kommt ein Frachtfuhrmann an einen Abhang der Straße, so legt er zur Verhütung von Unfällen einen Hemmschuh unter oder fesselt ein Rad mit einer Kette und verwandelt dadurch die rollende Reibung in eine gleitende oder seinen Wagen theilweise in eine Schleife, und dieser ist nun vermöge der viel stärkeren Reibung an dem Wege vor dem Hinabrollen auf der schiefen Fläche gesichert. Ohne Reibung würden Bauconstructionen, die einen Seitendruck auszuhalten haben, wie Brücken und Gewölbe, Futtermauern u. dgl. gar nicht aufgeführt werden können. Im Maschinenwesen ist die Reibung an ihrer Stelle eben so unentbehrlich. Die Fortpflanzung der Bewegung durch Laufriemen oder Seile z. B. ist lediglich auf die Reibung begründet. Um den Gang einer Maschine zu mäßigen oder ganz zu hemmen, wird in vielen Fällen eine verstärkte Reibung angebracht. Die verschiedenen hierbei gebräuchlichen Vorrichtungen heißen im Allgemeinen Bremsen.

So wenig ein Mensch ohne Reibung festen Fuß am Boden fassen und weiter schreiten könnte, eben so wenig würde sich die Locomotive auf der Bahn fortbewegen können, wenn nicht ihre Triebräder so viel Reibungswiderstand fänden, daß ihre Hebel wirksam werden können. Hier ist also alles unerwünscht, was die Reibung vermindert, wie Naßwerden, Beschneien oder gar Ueberfrieren der Schienen; denn eine Locomotive, deren Reibung gerade ausreicht, den Zug auf trockenen Schienen fortzubringen, wird in solchen Fällen stillstehen müssen und ihre Räder drehen sich gleitend auf einer Stelle herum. Zur Vermehrung der Reibung dienen dann größere Belastung der Maschine, Bestreuen der Schienen mit Sand oder das Vorlegen von zwei oder drei Locomotiven.

Mittelst eines um einen nicht drehbaren Cylinder gelegten Seils kann eine große Reibung erzeugt werden, die mit der Zahl der Umwindungen in rascher Progression wächst, so daß in dieser Weise mit einer kleinen Kraft einer bedeutend größeren Widerstand geleistet werden kann. So kann man mittelst einer solchen Vorrichtung mit wenig Kraft eine große Last um so sicherer aus einer Höhe herunterlassen, je öfter das Seil um den Cylinder gewunden ist, da der Reibungswiderstand von Windung zu Windung quadratisch wächst. Dasselbe Hülfs-

mittel dient zum Anhalten von Booten, Flößen u. s. w., indem man das Anlegeseil einigemal um einen am Ufer stehenden Pfosten windet.

Der Widerstand des Mediums, in welchem die Bewegungen geschehen, also der Flüssigkeiten und der Luft, bildet ein anderweitiges Bewegungshinderniß. Zum kleinern Theil beruhen diese Widerstände ebenfalls auf der Reibung, insofern nämlich die Berührungsflächen der Richtung der Bewegung parallel sind und daher lediglich an einander vorbeigehen. Eine Kugel, Scheibe, Cylinder erleiden daher, wenn sie sich in Flüssigkeiten drehen, nur diesen, allerdings nicht großen Reibungswiderstand. Man hat von dieser Reibung in Flüssigkeiten eine interessante Anwendung in der Art gemacht, daß man metallene Glättwalzen, nachdem man ihnen bereits eine möglichst feine Politur gegeben, noch längere Zeit in Wasser umlaufen ließ, wodurch ihre Glätte noch um Vieles feiner und sanfter wird.

Größere Widerstände treten nun aber auf, wenn ein Körper ein Medium durchschneidet, indem er hierbei fortwährend Theile desselben verschieben, also in Bewegung setzen und darauf eine Kraft verwenden muß. Hierbei kommt ersichtlich viel auf die Größe und die Form des Körpers, sowie auf die Geschwindigkeit seiner Bewegung an. Ein scharfer Keil im Wasser fortgetrieben, würde den geringsten Widerstand finden; daher läßt man Wasserfahrzeuge vorn schmal zulaufen und giebt ihnen übrigens gekrümmte Umfangslinien, indem solche zur leichtern Durchdringung des Mediums ebenfalls sehr günstig wirken. So ist nach Borda der Widerstand, den eine Halbkugel in der Luft erfährt, wenn sie mit der ebenen Fläche voran bewegt wird, $2^1/_2$ mal größer als bei der ganzen Kugel. Bei Schiffen und Booten jedoch ist dieser Einfluß der Form weit geringer als der von der Reibung des Wassers an den Wänden herrührende Widerstand. Den meisten Widerstand aber findet das Fahrzeug dadurch, daß sich das Wasser an seiner Vorderseite staut, d. h. ansammelt und höher steht als der allgemeine Wasserspiegel, weil es nicht Beweglichkeit genug besitzt um sofort seitwärts abfließen zu können. Das Umgekehrte findet am hintern Ende des Fahrzeuges statt, wo das Wasser immer etwas zurückbleibt und dadurch der Wasserspiegel vertieft wird. Das Fahrzeug erleidet dadurch einen Druck nach rückwärts, der seiner Bewegung um so mehr Abbruch thut, je schneller dieselbe ist. Es hat während seines Laufes gleichsam eine sich stets neubildende schiefe Ebene zu ersteigen; je rascher es dabei vorwärts will, desto mehr Wasser schiebt es vor sich zusammen und desto größer wird die Differenz des Wasserstandes zwischen vorn und hinten; die schiefe Ebene wird dadurch endlich zu steil um erstiegen werden zu können und das Fahrzeug kommt nur mit einer verminderten Geschwindigkeit vorwärts. Hieraus ist ersichtlich daß einem Fahrzeuge nicht jeder beliebige Grad der Geschwindigkeit ertheilt werden kann.

Der Widerstand des Wassers und der Luft gegen die Bewegung eines Körpers ist nach der allgemeinen Regel der Stoßfläche und dem Quadrat der Geschwindigkeit desselben proportional. Soll demnach ein Fahrzeug, das eine gewisse Geschwindigkeit hat, doppelt so schnell gehen, so trifft es schon einen viermal größern Widerstand an und bedarf das Vierfache der ursprünglichen

Triebkraft. Um diese Widerstände zu vermindern, sucht man den einen Faktor, die Stoßfläche möglichst zu verkleinern. Beim Fahrzeug ist die Stoßfläche der Querschnitt desselben, so weit es ins Wasser taucht. Macht man den Boden des Fahrzeugs flach und möglichst breit, so hat es einen geringern Tiefgang und also eine kleinere Stoßfläche. Dieses Auskunftsmittel findet bei Booten Anwendung; bei Seeschiffen, die mehr Tiefgang haben müssen, verkleinert man dagegen die Stoßfläche, indem man ihren untern Theil sehr verengert, ihnen einen scharfen Kiel giebt, eine Einrichtung die am stärksten an den Schnellseglern, den sog. Clippern hervortritt.

Bewegt sich ein Fahrzeug gegen den Wind oder gegen den Strom, so ist der Widerstand natürlich um so stärker. Soll z. B. ein Schiff auf einem Flusse, der die Geschwindigkeit 4 hat, mit der Geschwindigkeit 1 stromauf bewegt werden, so ist die Aufgabe und die Berechnung ganz dieselbe, als sollte dasselbe stehendes Wasser mit der Geschwindigkeit 5 durchschneiden. Ist dagegen die Richtung des Stromes und des Fahrzeuges dieselbe, so läßt es sich entweder einfach und ohne Kraftaufwand dahintragen, oder es will schneller vorwärts, und es ist in diesem letztern Falle nur die Differenz zwischen den beiden Geschwindigkeiten in Rechnung zu ziehen. Ein Fahrzeug, das in einem engen Kanale fortgezogen werden soll, erfährt noch einen vermehrten Widerstand dadurch, daß das Stauwasser nicht Gelegenheit hat seitwärts abzufließen, also dem Fahrzeuge mehr Hindernisse bereitet.

Die Luft als ein viel dünneres Medium bietet natürlich den in ihr bewegten Körpern auch einen um so geringern Widerstand, der bei gewöhnlichen Maschinen nur in sofern in Rücksicht kommen kann, als man nicht unnöthigerweise breite Flächen die Luft durchpeitschen lassen wird. Bei den sog. Windfängen, welche den Gang der Schlagwerke an Uhren, so wie verschiedener automatischer Musikwerke reguliren, leistet der Luftwiderstand sogar gute Dienste. Dagegen setzt er den Eisenbahnzügen ein oft nicht unbedeutendes Hinderniß entgegen, das schon unter gewöhnlichen Umständen viel größer ist als die Reibung an den Wagen.

Bei mäßigen Geschwindigkeiten nimmt man auch für den Luftwiderstand den Grundsatz an, daß derselbe wie das Quadrat der Geschwindigkeit wachse; indeß ist er bei sehr großen Geschwindigkeiten erfahrungsmäßig größer als er sich hiernach berechnen würde, was seinen Grund in der Elasticität der Luft hat. Ein durch die Luft gehender Körper drückt die vor ihm befindlichen Lufttheile zusammen, während die Luft hinter ihm sich verdünnt. Er ist also genöthigt dichtere Luft, als die ruhende, vor sich herzutreiben, und hat somit auf alle Fälle einen größern Widerstand zu überwinden als ihn die ruhende Luft ergiebt. Je größer nun die Geschwindigkeit, desto stärker muß die Luft zusammengepreßt werden und ihr Widerstand daher noch schneller wachsen als das Quadrat der Geschwindigkeit. Steht einem Wagenzug ein starker Wind gerade entgegen, so sind die Widerstände stark genug, die Fahrt wesentlich zu verzögern. Man hat auch versucht, diese Widerstände zu messen. Ein Pferd, das einen Eisenbahnwagen im Schritt zieht, soll in Folge des Widerstandes der ruhigen Luft einen Mehraufwand von $1\frac{1}{2}$ Pfund Zugkraft brauchen, wobei angenommen ist, daß

die Stoßfläche des Wagens ca. 80 Quadratfuß betrage. Für jeden Wagen, der etwa angehängt ist, wird nur $^1/_8$ dieses Widerstandes hinzugerechnet. Führt demnach eine Locomotive einen Wagen mit der 10fachen Geschwindigkeit des Pferdes fort, also ungefähr 10 Wegstunden in 1 Zeitstunde, so ist der Widerstand der Luft das Quadrat des frühern, 150 Pfund. Bei einem Zuge von 10 Wagen müßte hierzu noch für jeden $^1/_8$ dieses Widerstandes gerechnet werden, woraus sich die Summe von 338 Pfund ergiebt. Dieser Widerstand ist bei einer Fahrgeschwindigkeit von 40 Fuß in der Secunde auf einem 40 Fuß langen Wege zu überwinden, was 13520 Fußpfund oder 27 Pferdekräfte ergiebt. Dies wäre demnach für den vorliegenden Fall das ungefähre Krafterforderniß zur Ueberwindung des Luftwiderstandes bei unbewegter Luft; Winde und Stürme dagegen lassen sich schlecht in Zahlen fassen.

Steifigkeit der Seile. Die nicht ganz vollkommene Biegsamkeit der Seile, die über Rollen oder Wellen laufen, verursacht einen Kraftverlust, der da, wo er sich öfter wiederholt, wie bei zusammengesetzten Flaschenzügen, nicht unbeträchtlich ist. Man kann diese Bewegungswiderstände von zwei verschiedenen Seiten betrachten. Zunächst ist es klar, daß das Seilstück, das über der Rolle liegt, gekrümmt werden mußte und daß es beim Abwickeln wieder geradegestreckt werden muß. Hierzu gehört ein Kraftaufwand, der um so größer, je dicker und je härter das Seil ist. Man muß aber auch in Betracht ziehen, das das sich aufwickelnde Seilende nicht sofort, sondern nur allmälig in den Kreisbogen einbiegt; der noch gerade Theil wird daher in Folge der Steifheit etwas von der Rolle abstehen, die Last zieht demnach an einem etwas längern Hebel als wenn das Seil vollkommen biegsam wäre, und die Kraft muß dem entsprechend vermehrt werden. Diese zufällige Verlängerung des Hebelarmes der Last gegen den der Kraft kann je nach der Natur des Seils zu $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Seildurchmessers angenommen werden. Gesetzt es entstände sonach an einer Welle von 1 Fuß Durchmesser mit einem Seile von 1 Zoll Durchmesser eine Differenz von 5 Linien zu Ungunsten des Krafthebels, so würde, um mit der Vorrichtung 1000 Pfund zu heben, eine Kraft von 1091 Pfund erforderlich, also 91 Pfund in Folge der Steifheit des Seils verloren gegangen sei. Der Widerstand der Seile wächst nicht allein mit ihrer Dicke und Härte, sondern auch mit dem Grade der Spannung, obwohl nicht der Spannung proportionell. Neue Seile werden in der Regel einen größern Widerstand zeigen als längere Zeit gebrauchte; doch kann eben so gut das Gegentheil stattfinden und die Seile durch Feuchtigkeit und Schmutz ungefüger werden, wie denn in Maschinen überhaupt durch Rosten, Staub, Senkungen, Verziehen, Lockerwerden 2c. die Bewegungswiderstände im Laufe der Zeit sich meist vergrößern.

V.

Festigkeit der Materialien.

Jedermann muß mit dem Material, mit dem er arbeitet, vertraut sein; so vornehmlich auch der Mechaniker. Er muß wissen, was er dem Eisen, Holz u. s. w. zumuthen darf, wie stark die einzelnen Theile seiner Maschinen sein müssen, um den Krafteinwirkungen zu widerstehen, denen sie ausgesetzt werden sollen, und er darf hierin auch nicht zu viel thun, indem die unnöthige Verstärkung nur Materialverschwendung, Vermehrung der Belastung und Vergrößerung der Reibung herbeiführen würde. Die Construction eines mechanischen Werkes muß ferner mit Rücksicht darauf geschehen, daß es auch die gehörige Standfestigkeit oder Stabilität besitze.

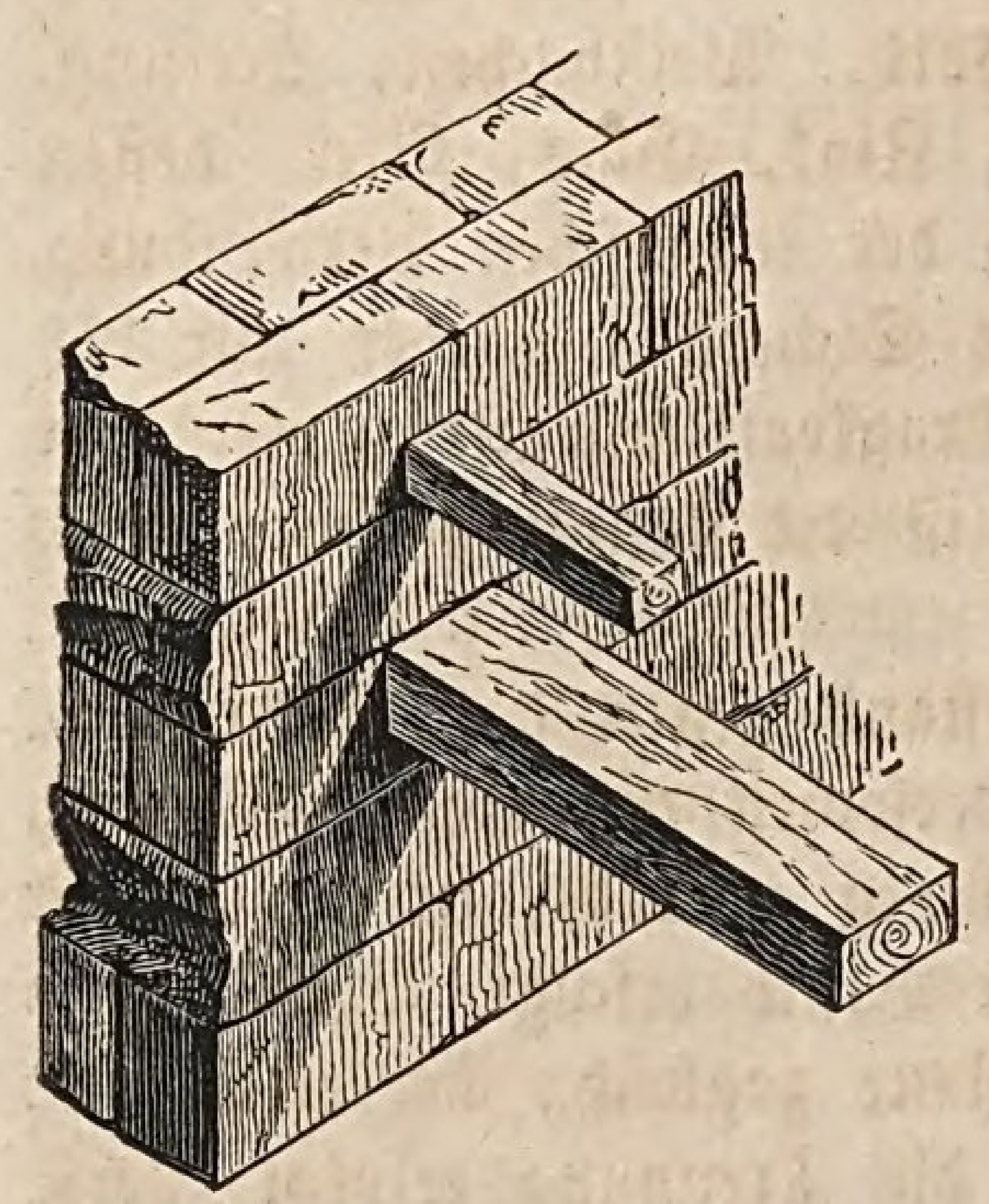
Die Kraft, welche die einzelnen Theilchen eines Körpers zusammenhält, wird die Cohäsion genannt. Vermöge der Cohäsion widerstrebt der Körper bis zu einem gewissen Grade einer Trennung oder Lagenveränderung seiner Theile. Viele Körper besitzen daneben noch einen höhern oder geringern Grad von Elastizität, d. h. sie nehmen ihre ursprüngliche Form wieder an, wenn dieselbe durch einen äußern Einfluß verändert wurde, sobald der Einfluß aufhört. Bei festen Körpern findet sich diese Eigenschaft nicht in unbeschränktem Maße; es giebt vielmehr für jeden Stoff eine Elasticitätsgrenze, über welche hinaus er entweder die aufgezwungene Form beibehält, oder bricht.

Die Haltbarkeit der Maschinentheile wird aber in gegebenen Fällen nicht allein von der Cohäsion und Elasticität des Stoffs, sondern auch von ihrer Größe, Form und Lage bedingt. Die Größe aller Maschinenwerke findet eine natürliche Grenze darin, daß das Gewicht der Massen in viel größerem Maße zunimmt als die Festigkeit. Während sich nämlich letztere wie das Quadrat der Dimensionen verhält, wächst ersteres wie der Kubus derselben. Wollte man daher einen soliden gut gebauten Karren um das Vierfache vergrößern, so müßte dafür gesorgt werden daß die Festigkeit der Theile die 16fache sei, was eine Vermehrung ihres Gewichts um das 64fache bedingen würde. Denken wir uns die Vergrößerung noch weiter fortgesetzt, so würde das Fuhrwerk schließlich unter seiner eigenen Last zusammenbrechen. Folgendes Beispiel wird dies noch näher erläutern.

Zuweilen legt man Steintreppen in der Weise an, daß man die Stufen gleich aus der Mauer herausstehen läßt. Würden diese Steine zu lang genommen, so müßten sie durch ihr eigenes Gewicht abbrechen. Ein Stein von mäßiger Größe besitzt in solchem Falle mehr Tragkraft als ein anderer von doppelter Dicke, der noch einmal so weit heraussteht. Denn der Schwerpunkt des letzteren liegt viel weiter nach vorn, und der Hebel, welcher ihn an seinem Stützpunkte in der Mauer abzubrechen strebt, ist daher ein längerer. In dem hier

gegebenen Beispiel hat der größere Stein den achtfachen Kubikinhalt des kleineren; seine Widerstandskraft gegen Bruch überhaupt viermal größer als bei jenem;

Fig. 74.



dagegen beträgt der Zug auf den Stützpunkt des größeren Steines das 8fache schon seines Mehrgewichts, und dieses wird das 16fache deshalb, weil der Schwerpunkt des Steines doppelt so weit von der Mauer absteht als der des kleinern. Größe und Lage vermehren also die Möglichkeit des Bruches beim größern Steine um das 16fache; dagegen war er in Bezug auf die Widerstandskraft nach dem oben Gesagten um das Vierfache im Vortheil; wird der Nachtheil mit dem Vortheil dividirt, so ergiebt sich das Verhältniß zu Gunsten der Tragkraft des kleinern Steines wie 1 zu 4, d. h. der letztere ist dem Brechen viermal weniger ausgesetzt.

Die Materialien, welche im Maschinenwesen angewendet werden, sind vier Arten von Einwirkungen unterworfen, wodurch endlich ihr Zusammenhang aufgehoben werden kann und Trennung der Theile eintritt. Diese sind: 1) Dehnung, d. h. irgend eine in der Längsrichtung ziehende Kraft, wodurch sie entzwei gerissen werden, wie Stricke, Hängestangen, Schienen u. s. w. 2) Querbelastung, oder irgend eine Kraft, welche senkrecht oder schräg zu ihrer Längenrichtung wirkt und Verbiegung oder Bruch hervorbringt, wie bei Hebeln, Balken ꝛc.; 3) Längendruck oder Quetschung überhaupt, wie er auf Säulen, Würfel ꝛc. stattfindet und dessen Tendenz Zersplitterung oder Zermalmung ist. 4) Drehung, welche einen längeren Körper an einem oder beiden Enden windend angreift und ihn zu zerdrehen strebt. Der Widerstand, welchen ein Körper diesen Einflüssen entgegensetzt, heißt im ersten Falle absolute, im zweiten relative, im dritten rückwirkende Festigkeit und im vierten Torsionswiderstand.

Wird ein Körper auf seine absolute Festigkeit geprüft, also einem Längszuge ausgesetzt, so erfolgt, wenn die Kraft die Grenzen seiner Elasticität nicht übersteigt, eine Dehnung, also Verlängerung, die der Länge des Körpers und der Zugkraft proportional, seinem Querschnitt aber umgekehrt proportional ist. Nach weggenommener Belastung wird dann der Körper seine frühere Lage wieder annehmen. Ist die Grenze der Elasticität, die je nach den Stoffen sehr verschieden ist, überschritten, so bleibt die Verlängerung eine dauernde und bei noch weiterer Belastung erfolgt das Reißen, vor dessen Eintritt die Trennungsstelle, als die schwächste, sich vorzugsweise verlängert und verdünnt.

Auf das Zerreißen an sich hat nicht die Länge des Körpers, sondern lediglich sein Querschnitt Einfluß. Die absolute Festigkeit wächst wie der Querschnitt. So kann man erfahrungsmäß an einen Eisendraht von 1 Linie Querschnitt etwa 600 Pfund Gewicht hängen und hierdurch wird seine absolute Festigkeit

ausgedrückt, denn bei weiterer Belastung reißt er. Ein Draht von der doppelten Stärke wird demnach 1200 Pfund mit derselben Sicherheit tragen können. Die Festigkeit der meisten technisch verwendbaren Stoffe ist durch zahlreiche Versuche festgestellt worden. So rangiren nach dem Eisen mit stets abnehmender Festigkeit: Silber, Kupfer, Eichenholz (Kern), Gold, Weißbuchen, Messing, Buchsbaum, Eichenholz (Splint), Hanfseile, Zinn, Zink, Glas, Blei, dessen Festigkeit noch nicht $^1/_{100}$ des Eisens beträgt. Bei der technischen Verwendung der Materialien ist es jedoch Regel, die Metalle der Sicherheit halber nur bis höchstens zur Hälfte, die Hölzer bis zu $^1/_3$ ihrer Tragkraft anzustrengen. Bei Anwendung von Ketten, Draht- und andern Seilen ist die Kenntniß ihrer absoluten Festigkeit vorzüglich wichtig.

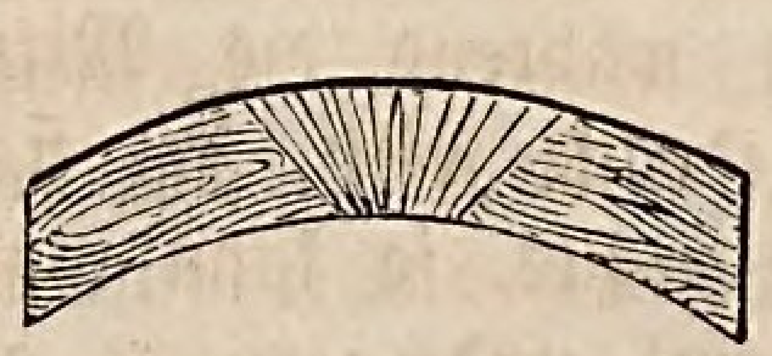
Die relative Festigkeit einer Masse, ihr Widerstand gegen das Zerbrechen, wird geprüft, indem man lange vierkantige Stücke derselben entweder an beiden Enden oder nur an einem stützt und die Lasten demnach entweder in der Mitte oder an dem einen Ende so lange vermehrt, bis der Bruch erfolgt. Bei spröden Körpern trennen sich alle Theile an der Bruchstelle zugleich; bei elastischen und zähen Körpern geht eine Biegung vorher und die Trennung erfolgt zuerst auf der convexen Seite.

Liegt ein Balken an beiden Enden auf, so drückt auf jede der beiden Unterlagen die Hälfte seiner Schwere; wird er daher in der Mitte belastet, so muß auch diese neue Last sich gleichmäßig auf die beiden Unterlagen vertheilen. Ein Balken, der auf diese Art 1000 Pfund tragen könnte, wird, wenn man die eine Stütze wegnimmt und das andere Ende sich eingespannt denkt, dann begreiflich nur noch die Hälfte, 500 Pfund, tragen, abgesehen von der Eigenschwere des Balkens; wollte man die Last bis ans andere Ende fortrücken, also die Länge des Hebels verdoppeln, so müßte nach dem bekannten Gesetz die Last abermals halbirt, demnach bis auf 250 Pfund vermindert werden. Jede Last aber, die ein doppelt oder einfach gestützter Balken eben noch zu tragen vermag, kann verdoppelt werden, sobald man sie gleichmäßig über seine ganze Länge vertheilt, denn es läßt sich dann die Gesammtwirkung derselben so ansehen, als drücke sie auf einen Punkt in der Mitte des Hebels, bis dem beiderseitig gestützten Balken also auf die Mittelpunkte seiner beiden Hälften; und daß eine gegebene Kraft nur halb so viel wirkt, wenn man ihren Hebel auf die Hälfte der Länge reducirt, ist uns bekannt.

Die Eigenschwere eines Balkens ist auch eine gleichmäßig über ihn vertheilte Last, die er mit zu tragen hat, und die ihm, wo es sich um große Lasten handelt, vorweg angerechnet werden muß. Da er bei zu großer Länge endlich unter seiner eigenen Last brechen kann, so ist schon hieraus zu entnehmen, daß Körper von einerlei Stoff bei größerer Länge geringere Tragfähigkeit oder relative Festigkeit besitzen; beide stehen im umgekehrten Verhältnisse; mit der Breite dagegen steht die Festigkeit im graden Verhältniß, d. h. sie nimmt einfach wie diese zu, was ebenfalls selbstredend ist. Den wesentlichsten Einfluß auf die Tragfähigkeit aber hat die Entfernung der untern und obern Flächen eines belasteten Balkens, Bretes u. s. w., also seine Höhe. Bei jeder Biegung werden

die auf der innern Seite des Bogens liegenden Fasern oder Massetheilchen zusammengedrängt, die auf der andern Seite ausgedehnt oder gestreckt. Wird

Fig. 75.



diese Ausdehnung oder Zusammendrängung größer, als sie dem Stoffe angemessen ist, so geht die Biegung in Bruch über. Mit der Höhe des Körpers vermehrt sich nun die Zahl der übereinandergelegten Schichten, welche einerseits der Ausdehnung, andererseits der Zusammendrückung Widerstand leisten, und es könnte sonach scheinen, als wüchse die Widerstandskraft auch mit der Höhe nur im einfachen Verhältniß. Es darf aber nicht übersehen werden, daß je weiter die Fasern oder Schichten von der Mitte abliegen, desto günstiger das Hebelverhältniß ist, unter welchem sie der einwirkenden Kraft widerstehen. Denn man kann sich bei dem Biegen eines Balkens die Sache so vorstellen, daß die Kräfte wie Hebel um einen neutralen Punkt gruppirt sind, der in der Mitte der Masse da liegt, wo schließlich der Bruch erfolgen würde. Betrachten wir eine von diesem Punkte nach der äußern, ausgedehnten Seite des Bogens gezogene Linie, so werden wir uns sagen können, der Druck wirke dahin, diese Linie zu spalten, sie in einen Winkel zu verwandeln. Wird nun die Höhe des Balkens, somit die Länge der Linie verdoppelt, so müssen auch die Kräfte, die der Spaltung der Linie widerstreben, am äußern Ende das Doppelte der Wirkung haben, diese auf der halben Länge des Hebels ausüben konnten. Was auf dieser Seite in Bezug auf den Widerstand gegen die Ausdehnung gilt, wiederholt sich auf der andern in Bezug auf den Widerstand gegen die Zusammendrückung, und es folgt hieraus, daß man, um bei einem Balken, dessen Höhe man verdoppelt hat, noch dieselbe Biegung wie früher hervorzubringen, das Vierfache der frühern Belastung anwenden muß. Sonach wächst die relative Festigkeit wie das Quadrat der Höhe. Deshalb trägt ein Balken, dessen Durchschnitt ein längliches Viereck bildet, weit mehr wenn er auf die hohe Kante gestellt wird als in der andern Lage, und es ist daher ganz allgemein Regel, überall, wo Lasten getragen werden sollen, die Höhe der Balken möglichst groß zu nehmen.

Der sehr verschiedene Zustand der obern und untern Fläche gebogener Körper läßt sich in mehrfacher Weise deutlich erkennen. So werden bei einem durch starke Belastung gebogenen Brete die entgegengesetzten Spannungen so groß, daß zuweilen schon das Einstoßen einer Federmesserklinge das Auseinanderplatzen des Holzes in zwei Theile zur Folge hat. Denken wir uns ein so gebogenes Holzstück mit der convexen Seite nach oben zwischen festen Widerlagern liegend, so haben wir das Bild eines gewölbten Bogens. Ein so geformter Körper kann einen ungemein starken Querdruck aushalten, indem hier sowohl die untern als die obern Massetheilchen zusammengedrückt werden, mithin jedes Theilchen seinen Antheil Last trägt, wodurch der Widerstand des Bogens dem einer aufrechten Stütze gleich wird.

Alles was dazu dient die äußern Fiberlagen zu kräftigen oder zu stützen, trägt zur Vermehrung der relativen Festigkeit eines Körpers wesentlich bei, wie andrerseits schon kleine Beeinträchtigungen nachtheilig wirken. So schwächt

schon ein schmaler und seichter Einschnitt an der untern Seite eines Bretes oder einer Stange die Tragkraft ungemein, während er nach oben gekehrt auch bei größerer Tiefe wenig schadet.

Die Erkenntniß, daß bei der relativen Festigkeit der Körper hauptsächlich die mehr äußerlich liegenden Flächen ins Spiel kommen, während die Mitte ziemlich neutral bleibt und weder gedehnt noch zusammengedrückt wird, hat sich für viele Fälle sehr erfolgreich erwiesen. Hilft eine Masse nichts, so kann man sie auch ohne Schaden wegnehmen, erspart so an Material und gewinnt an Leichtigkeit, ohne die Festigkeit zu beinträchtigen. Dies ist das Princip der hohlen Säulen, der Bauconstructionen aus Blech u. s. w., welches in unsern Tagen in den großen englischen Röhrenbrücken seinen Gipfelpunkt erreicht hat, die man ganz wie ausgehöhlte Balken beurtheilen kann. Das Princip der hohlen Röhren sehen wir schon in den Naturgebilden vielfach befolgt, wo Leichtigkeit mit Festigkeit verbunden sein soll; so z. B. in den Röhrenknochen, den Federkielen, Rohren und Gräsern. Eine solide eiserne Säule bekommt, wenn ihr Material in eine hohle umgeformt wird, eine größere Tragkraft, indem nun die Masse weiter vom Mittelpunkte entfernt ist. Nach Tredgold's Annahme besitzt ein hohler Cylinder, dessen innerer Halbmesser sich zum äußern wie 7 zu 10 verhält, doppelt so viel Festigkeit als ein solider Cylinder von gleichem Gewicht.

Auf diesen Rücksichten beruhen viele Formen, welche solchen beweglichen und unbeweglichen Stücken gegeben werden, die hauptsächlich nach einer Richtung hin Anstrengung auszuhalten haben. Eiserne Träger z. B. werden oft so geformt, daß ihr Querschnitt etwa nebenstehende Figur hat.  Die untere Platte ist hierbei immer stärker, besonders bei Gußeisen, dessen Widerstand gegen Ausdehnung etwa 6mal größer befunden worden ist als sein Widerstand gegen das Zusammendrücken. Bei Schmiedeeisen braucht der Querschnitt nur das Doppelte der obern Platte zu haben. Bei einem auf beiden Seiten aufliegenden Balken liegt die schwächste Stelle natürlich in seiner Mitte, bei einem frei herausstehenden da, wo er aus der Mauer 2c. heraustritt. Hier wird also die ganze Festigkeit des Balkens in Anspruch genommen, was weiterhin nach dem andern Ende zu immer weniger der Fall ist; denn es ist undenkbar, daß ein ganz gleichmäßiger frei heraus stehender Balken eher an einer andern Stelle, als an seiner Einfügung abbrechen sollte; eine Kraft, welche dies hier gerade auch vermöchte, kann es z. B. nicht mehr in der Mitte seiner Länge, weil sie hier an einem nur halb so langen Hebel zieht, und wird es also weiter nach dem Ende hin noch weniger können. Daher läßt man häufig bei Trägern, Wagebalken, Balanciers an Dampfmaschinen 2c. die Höhe nach den Enden zu immer mehr abnehmen, so daß der Körper auf einer oder beiden Seiten von einer parabolischen Linie begrenzt erscheint. Solche Stücke, die im Verhältniß zu ihrer Höhe sehr schmal genommen werden, schützt man vor möglichen Umbiegungen oder seitlichen Schwankungen durch Verstärkungsrippen.

Die rückwirkende Festigkeit ist der Widerstand, den die Körper gegen das Zerdrücken leisten. Sie wächst wie die absolute Festigkeit mit dem Querschnitte des gedrückten Körpers, und wird bei Metallen als der absoluten gleich,

bei Hölzern als die Hälfte dieser angenommen, so daß man an Holz eine doppelt so große Last anhängen, als darauf legen könnte.

Der Widerstand, den ein kurzes regelmäßiges Stück Metall oder Holz dem Zerdrücken leistet, erscheint im Allgemeinen bedeutend. Ein Kubikzoll der nachstehenden Stoffe erträgt nach angestellten Versuchen, ehe er zerdrückt wird, eine Belastung von

Ulme	3240	Pfund	Zinn	2880	Pfund
Esche	3540	=	Zink	5700	=
Weißtanne	3630	=	Messing	6700	=
Eiche	3900	=	Gußeisen	15300	=
Rothtanne	4290	=	Schmiedeeisen	17800	=
			Blei	1500	=

Das Holz verträgt den stärksten Druck in der Richtung seiner Fasern, besonders wenn die Stücke sehr kurz sind. In diesem Falle helfen alle Theilchen des Holzes Widerstand leisten und es muß also die Undurchdringlichkeit der Masse selbst überwunden werden. Sind die Holzstempel aber länger, etwa bis zum Zehnfachen ihres Durchmessers, so reißen oder spalten sie sich und zersplittern, indem die Fasern auf einander wie spitze Keile wirken. Bei noch größerer Länge der Hölzer tritt, wie auch bei Metallen, die Neigung zum Umbiegen hervor; das Stück weicht an der schwächsten Stelle seitwärts aus, der Druck geht nun nicht mehr senkrecht durch dessen Axe, sondern wirkt wie auf Hebel, die vom Mark aus nach der convexen Seite pressen. Je schlanker die Hölzer oder Metallstücke sind, desto länger die brechenden Hebel, desto leichter also wird Bruch und Zersplitterung eintreten.

Wird die Möglichkeit des Seitwärtsbiegens bei langen Säulen 2c. abgeschnitten, wie z. B. bei Rostpfählen, so tragen sie so viel als eine Anzahl kurzer Stücke von derselben Gesammtlänge.

Der Widerstand der Körper gegen Verdrehung kommt beim Maschinenwesen hauptsächlich in Betracht hinsichtlich der Wellbäume, welche große Bewegungskräfte zu übertragen haben, wie auch bei leichteren Wellen mit raschem Umlaufe. Gewöhnlich wirkt an dem einen Ende solcher Wellen die bewegende Kraft als eine drehende, während am andern Ende die Last der Drehung entgegenwirkt. Kraft und Last haben daher das Bestreben, die Welle schraubenähnlich zusammenzudrehen, was zu einem Abdrehen oder bei Holz zum Zerspringen in der Länge führen kann. Der Mechaniker muß daher auch nach dieser Seite hin seine Berechnungen anstellen, um zu wissen wie stark er die Wellen machen muß, um sicher zu gehen. Bei gleichem Querschnitt ist eine runde Welle in Bezug auf den Torsionswiderstand beträchtlich stärker als eine vierkantige.

In vielen Fällen handelt es sich weniger um den Bruch, als um die Biegung der Körper. Es ist oft nöthig die Biegung berechnen zu können, die eine bestimmte Last einem Körper ertheilen wird, oder auch die Dimensionen eines Körpers so zu bestimmen, daß er sich unter dieser Last nicht mehr biege als von vorn herein festgesetzt wird. Hierbei ist begreiflicherweise der Elasticitätsgrad der Stoffe und die Grenze über welche hinaus die Elasticität zerstört

wird, von Wichtigkeit. Eine eiserne Stange z. B. besitzt einen genau bestimmbaren Grad von Elasticität. Man kann sie, wenn sie an beiden Enden gestützt ist, durch ein in der Mitte angehängtes Gewicht bis zu einem gewissen Grade biegen, und nach Wegnahme des Gewichts wird sie ihre gerade Richtung wieder annehmen. Durch eine mäßige Verstärkung des Gewichts wird sie noch nicht gebrochen, wohl aber wird sie dadurch die Fähigkeit verlieren, in ihre gerade Richtung zurückzukehren; sie hat nun eine dauernde Biegung erlitten und ihre Elasticität wird so vermindert sein, daß sie jetzt vielleicht unter einem leichteren Gewicht brechen wird als sie vorher tragen konnte. Das Vermögen in die frühere Lage zurückzukehren geht endlich ganz verloren, wenn Stangen, Balken rc. längere Zeit einem biegenden Drucke unterlegen haben. Die kleinsten Theilchen des Stoffes, die mit Gewalt aus ihren gegenseitigen Positionen verdrängt worden sind, nehmen allmälig neue Lagen an, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist und nun die ganze Masse dauernd in der neuen Form verharrt.

VI.

Von den Maschinentheilen.

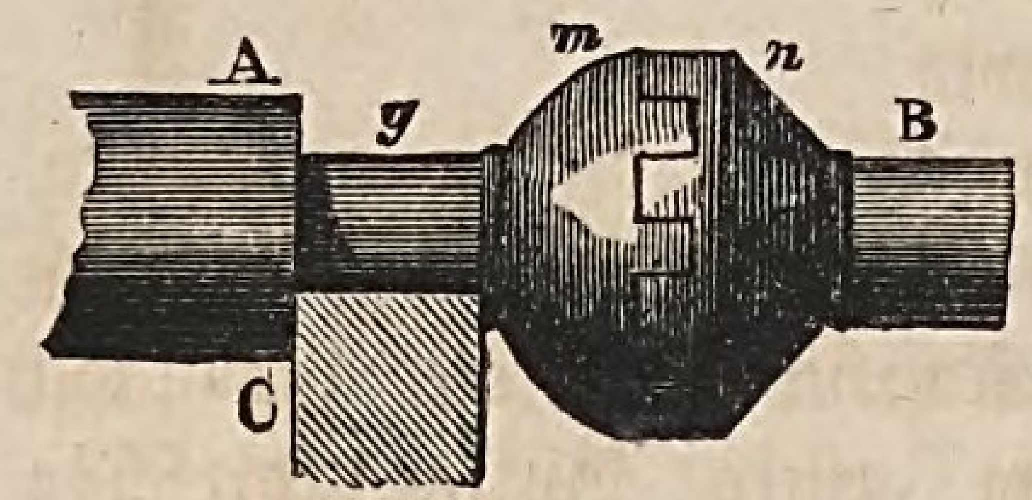
Haben wir in den sog. einfachen Maschinen die Urbestandtheile aller Maschinen betrachtet, so werden wir nun die Formen und Combinationen ins Auge zu fassen haben, in welchen sie in zusammengesetzten Maschinen auftreten können. Allerdings sind diese in der Praxis, bei den vielerlei Zwecken, zu welchen Maschinen dienen, so zahlreich und mannichfaltig, daß eine einigermaßen vollständige Beschreibung und Abbildung schon ein weitschichtiges Werk geben würde. Wir werden uns demnach hier auf das Hauptsächlichste zu beschränken haben.

In jeder einigermaßen complicirten Maschine sehen wir die verschiedenen Theile in mannichfach verschiedener Bewegung; betrachten wir diese Bewegungen einzeln, so sehen wir einige Theile in stets gleichbleibender Bewegung; an anderer Stelle drehen sich Räder bald langsam, bald schnell; ein Theil, der eine Axendrehung hat, theilt einem andern eine hin und her gehende Bewegung; mit oder umgekehrt; Räder mit großer Geschwindigkeit sind mit andern verbunden, die sich langsam drehen u. s. w. In einigen Maschinen, wie z. B. den Baumwollspinnmaschinen, den Schnellpressen sind die Bewegungen so mannichfaltig, daß sie den Uneingeweihten in Verwirrung setzen können, während dem mit der Mechanik mehr Vertrauten oft eine nur kurze Betrachtung genügt, um über das Ganze ins Klare zu kommen. Die Einsicht in ein Ganzes ist aber nur möglich, wenn man die einzelnen Theile kennt und richtig zu würdigen weiß. Hierzu wird der gegenwärtige Abschnitt einige Anleitung geben.

Wellen sind, als Träger von Rädern und andern Formen des Hebels, wohl die am häufigsten vorkommenden Maschinenstücke. Ohne Ansätze und blos mit ihrer eigenen Oberfläche wirkend erscheinen sie als Walzen. Die äußeren dünnern Enden, auf denen sie sich drehen, heißen die Wellzapfen und die gerundeten Lagerstätten derselben die Zapfenlager. An eisernen Wellen sind die Zapfen mit dem Hauptkörper in einem Stück gegossen und nachgehends genau abgedreht. Eiserne Zapfen, die in hölzerne Wellen eingesetzt werden sollen, erhalten der bessern Befestigung halber nach hinten breite Ansätze, so daß sie zwei- oder vierflügelig erscheinen, und die Köpfe der Wellen umfassen starke eiserne Bänder. Die Zapfenlager sind häufig aus einer harten Legirung von Kupfer und Zinn gegossen. Bei aufrecht stehenden Wellen hat der untere Zapfen oft bedeutende Lasten zu tragen und es entsteht bedeutende Reibung, zu deren Verminderung vielerlei Einrichtungen versucht worden sind. Das untere Ende des Zapfens ist entweder halbkugel- oder kegelförmig und steht, reichlich mit Oel umgeben, in einer seiner Form entsprechenden Aushöhlung, der Pfanne; oder auch findet gar keine metallische Reibung statt, indem der Zapfen auf einer eingeschlossenen Schicht Oel steht.

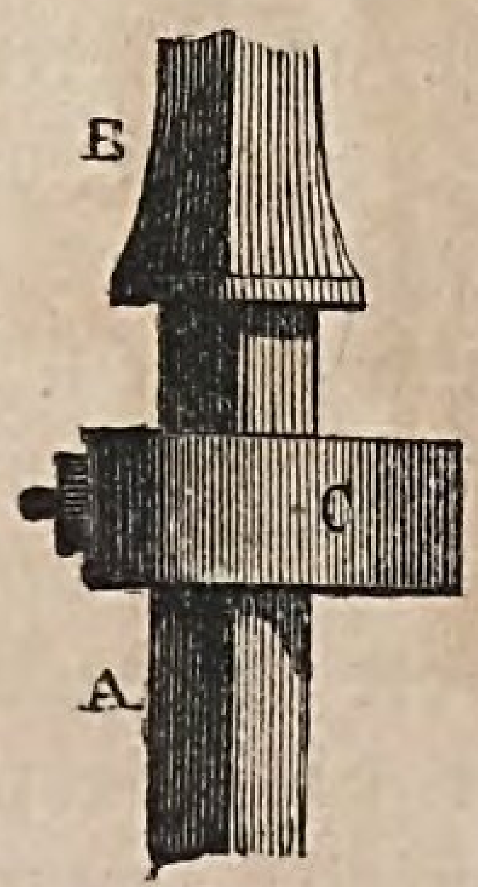
Durch mehrere verbundene Wellen läßt sich eine rotirende Bewegung eine ziemliche Strecke fortleiten. Um diese Verbindungen zeitweilig lösen und wiederherstellen zu können, hat man an den Enden der einzelnen Schäfte Einrichtungen wie die hier abgebildete, oder dieser ähnliche, welche Kuppelungen heißen. Die Wellenenden haben runde Köpfe m n, in welche zusammenpassende Verzahnungen geschnitten sind, so daß durch einfaches Zurückschieben der einen Welle die Verbindung gelöst und andernfalls wieder hergestellt werden kann. Zuweilen hat nur das eine Wellenende einen Zapfen nebst Lager (g C), zuweilen auch das andere.

Fig. 76.



Stehende Wellen können am einfachsten durch eine Vorrichtung wie die hier ersichtliche gekuppelt werden. Die untere Welle A geht durch das Lager C und ist oben viereckig geformt. Die obere Welle B hat an ihrem untern Ende eine eben so geformte Aushöhlung; wird sie heruntergelassen, so schiebt sich das Ende von A hinein und hierdurch so wie durch die Schwere der obern Welle wird eine gute Kuppelung bewirkt. Das Heben und Niederlassen von B erfolgt mittelst eines Hebels.

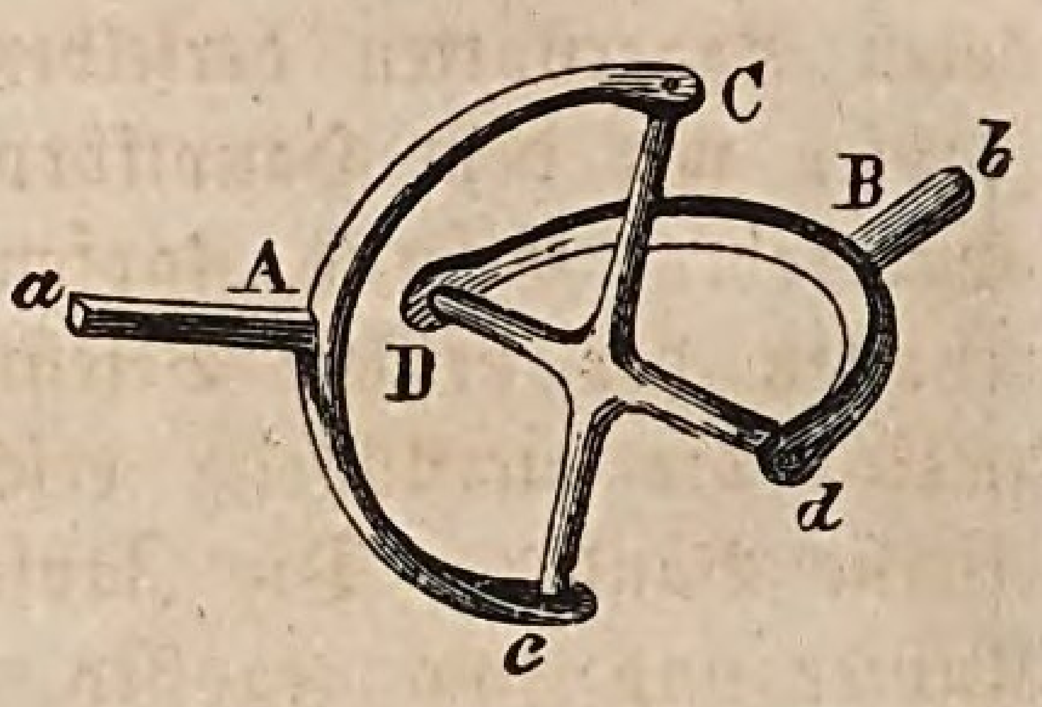
Fig. 77.



Wellen die nicht ganz in derselben Richtung, aber doch so liegen, daß ihre Verlängerungen sich schneiden, können noch mittelst des sog. Universalgelenks gekuppelt werden, eine Vorrichtung, die in einem gewissen Grade nach allen Seiten hin nachgiebig ist. Die zu verbindenden Wellen (A B) enden hier (Fig. 78) in gabelförmigen Stücken, die durch ein Kreuz verbunden sind. Die Gabelenden sind um die Enden des Kreuzes wie an Zapfen drehbar. Zuweilen sitzen diese 4 Zapfen auf dem Umfange eines Kreises oder einer soliden Kugel,

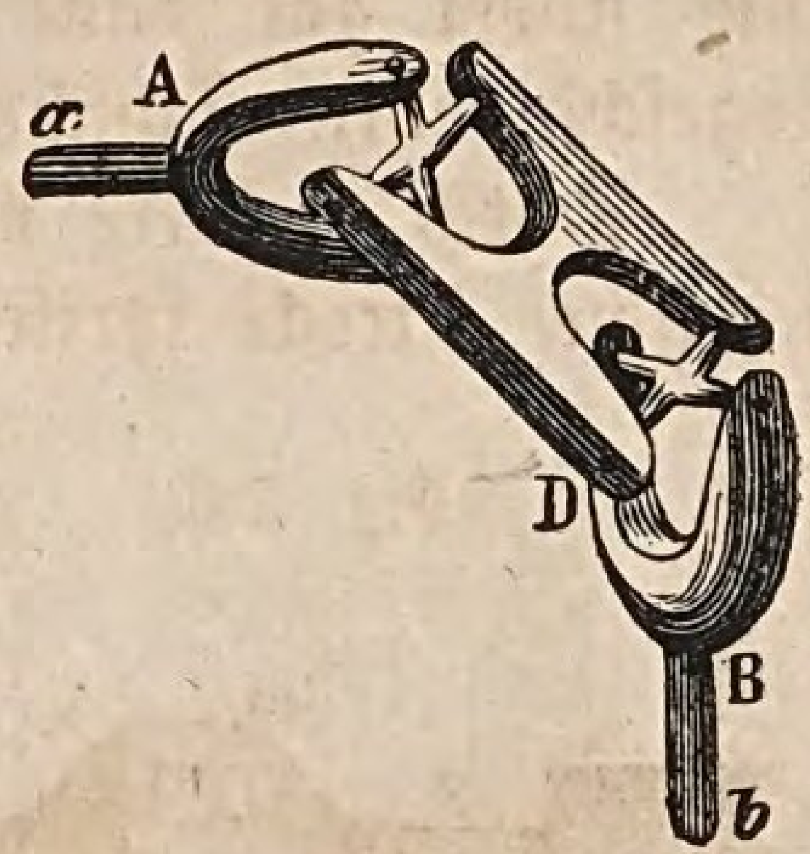
wodurch im Wesentlichen der Vorrichtung nichts geändert wird. Man benutzt das Universalgelenk zuweilen anstatt der Winkelräder, wenn der Winkel, den die Wellen bilden, 20—25 Grad nicht überschreitet und die Zahl der Umdrehungen sich gleich bleiben soll. Allerdings entspringen aus dieser Einrichtung Unregelmäßigkeiten der Bewegung; wo aber solche übersehen werden können, empfiehlt sich dieselbe, da sie sich den Unregelmäßigkeiten anbequemt, welche ihren Grund in Senkungen der Zapfenlager oder der Gestelle u. s. w. haben.

Fig. 78.



Bei Anwendung des doppelten Universalgelenkes (Fig. 79) ist eine viel größere Neigung der Wellen zu einander zulässig, nur müssen beide immer in ihrer Verlängerung sich schneiden und die Winkel, welche sie mit dem Mittelstück C D machen, müssen gleich sein.

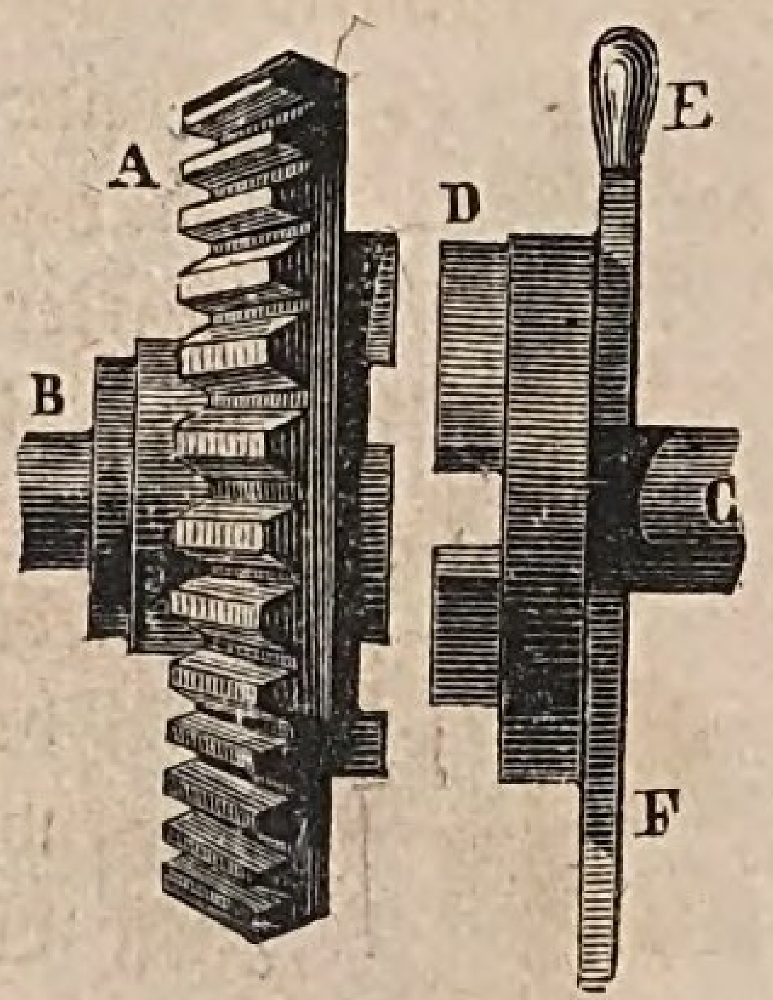
Fig. 79.



Um Maschinen während des Ganges aus- und einrücken zu können, wird ein Rad so gemacht, daß es sich wie eine lose Rolle auf einer runden Partie der Welle dreht, also in dieser Verfassung zu einer Kraftfortleitung nicht tauglich ist. Daneben auf derselben Welle befindet sich die Klaue D (Fig. 80), deren Einschnitte in die gegenüberstehenden des Rades passen. Dieses Stück sitzt verschiebbar auf einem viereckigen Theil der Welle, muß also deren Umdrehung stets folgen und wird, wie leicht ersichtlich, auch das Rad A in Umdrehung versetzen, sobald durch den Hebel E F der Eingriff beider Stücke hergestellt ist.

Räder werden oft auch in der in Fig. 81 ersichtlichen Weise aus- und eingerückt. Das Querstück A B ist bei B um einen Bolzen drehbar, und läßt sich bei A auf und nieder bewegen. Es bildet also einen Hebel, der seinen Stützpunkt in B hat. Durch Hebung des Endes A kommt das Räderwerk außer Eingriff und durch einen Keil oder Halter C wird das Querstück in einer oder der andern Lage festgestellt.

Fig. 80.

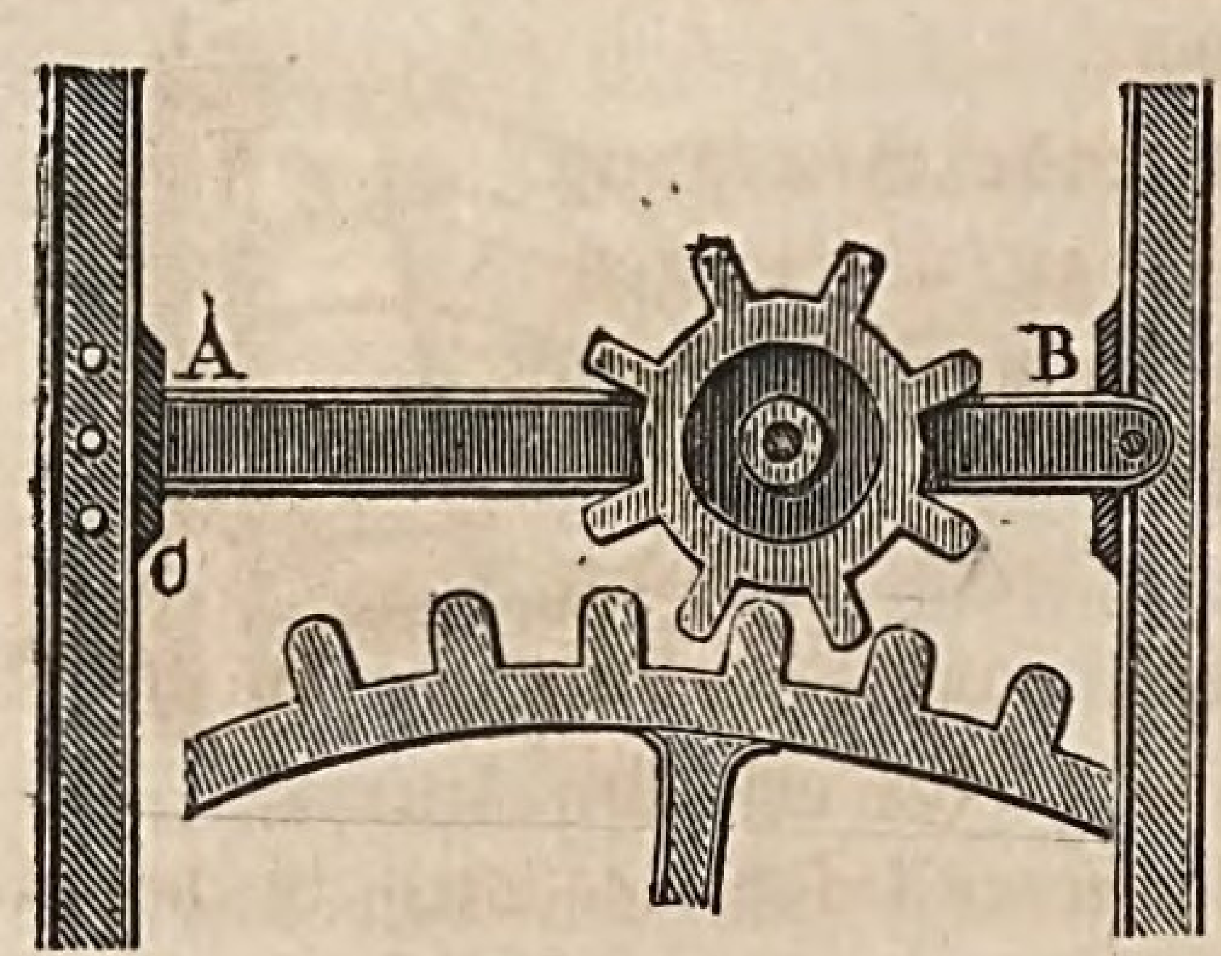


Die Ausrückung von laufendem Räderwerk erfolgt ohne alle Schwierigkeiten, wogegen die Einrückung in gleichem Falle leicht das Ausbrechen der Zähne im Gefolge hät. Sie findet trotzdem nicht selten statt. Setzt man das einzurückende Rad vorher mit der Hand in Gang, so ist die Gefahr des Brechens um vieles geringer, da die Trägheit des Rades dadurch zum Theil schon überwunden ist.

Eine der längstbekannten Methoden, durch Treibriemen bewegte Maschinen in und außer Gang zu setzen, ist die Anwendung der gleitenden Rolle. Gleich dem Rade im letztern Beispiele sitzt die Rolle P (Fig. 82), durch welche die

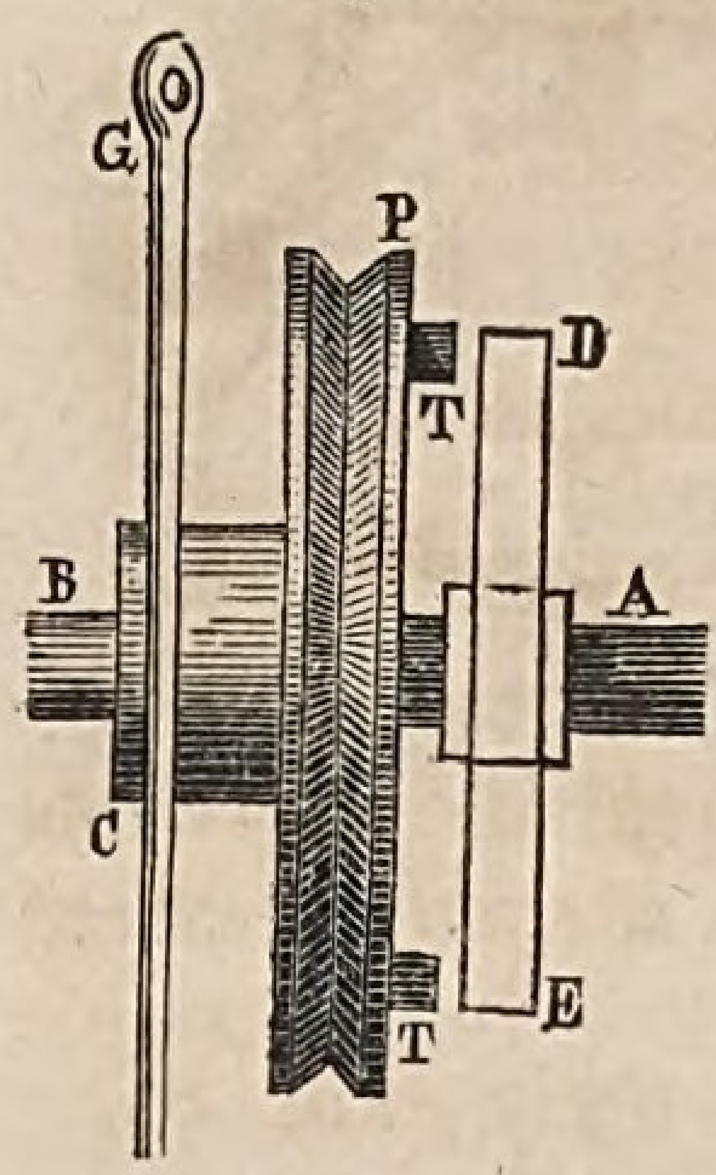
Maschine in Bewegung erhält, vermittelst einer Büchse beweglich auf der Welle B A und geht somit leer bis sie mit Hülfe des Keils G C so weit nach rechts verschoben wird, daß ihre beiden seitlichen Ansätze T T mit dem Querstück D E in Berührung kommen, welches fest mit der Welle verbunden ist und so zwei Speichen bildet, vermittelst deren die Rolle mit herumgeführt wird.

Fig. 81.



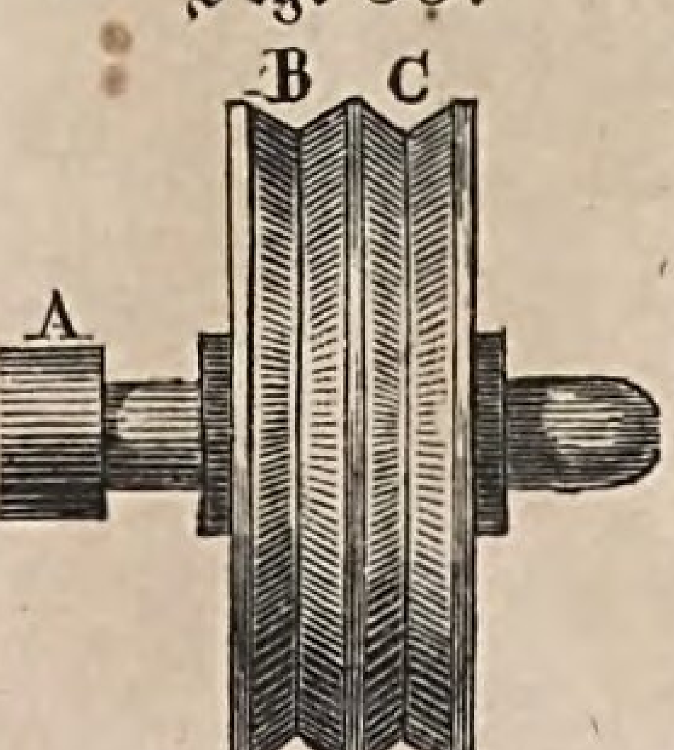
Zwei auf der Triebwelle A (Fig. 83) sitzende Rollen, deren erstere B fest, die andere C lose ist, leisten das nämliche, und man kann ohne weiteres das Treibband mit der Hand oder mit einem Hebel von der einen auf die andere überführen. Diese durch große Einfachheit sich empfehlende Vorrichtung hat noch das Gute, daß der Wechsel von keinem Stoße begleitet ist. Ihre Anwendung in Baumwollspinnereien ist allgemein. — Die in Fig. 84 ersichtliche Kuppelung wird angewendet, wo die bewegende Kraft von der Schwungradwelle einer Dampfmaschine (A) auf eine Maschinenwelle (F) übertragen werden soll. Beide Arme B D sind mit ihren Wellen fest verbunden und es ist ersichtlich, daß D vermöge seines seitlichen Fortsatzes B mit herum führen wird, die Drehung möge in der einen oder der andern Richtung erfolgen. Da aber für die Maschine in der Regel nur die eine Richtung brauchbar ist, während das Schwungrad sich durch Zufall auch einmal in der andern drehen könnte, so ist zur Verhütung von Unfällen die einfache Einrichtung getroffen, daß der Arm B aus zwei Stücken besteht, die bei C durch ein Gelenk wie die Theile einer Zimmermannsschmiege verbunden sind. Hiernach findet der Arm D nur nach einer Richtung hin Widerstand, während, wenn er in der falschen Richtung ankäme, das obere Stück von B umschlagen und die Maschine in Ruhe bleiben würde.

Fig. 82.



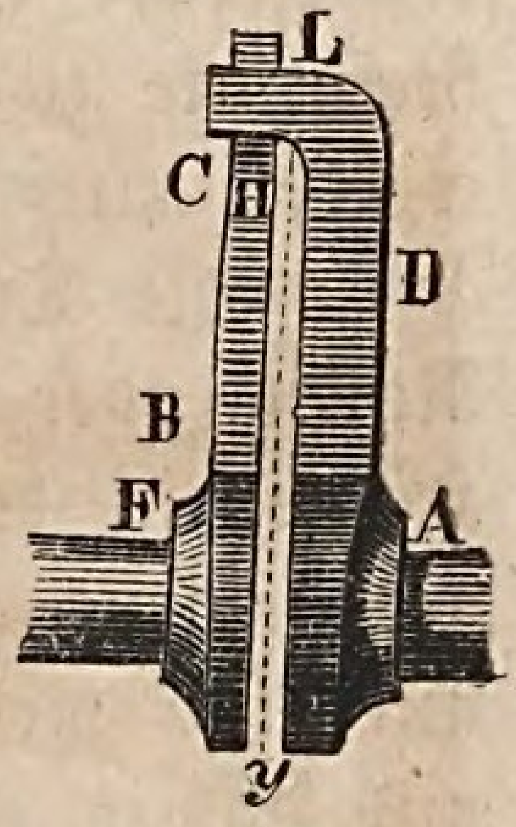
Das Ein- und Ausrücken entgegengesetzt laufender Räder kann durch Vorrichtungen wie die Fig. 85 versinnlichte bewerkstelligt werden. Die zwei Winkelräder A und B sitzen mittelst Büchsen lose auf der Axe M N und werden vom Winkelrad C in entgegengesetzten Richtungen umgedreht. Sowohl A als B kann durch das gleitende Mittelstück S in festen Verband mit der stehenden Welle gebracht werden, indem ein doppelter Hebel, der seinen Stützpunkt in F hat, die Hebung und Niederdrückung desselben vermittelt. Vermöge der Zähne a a und b b und entsprechender Löcher in dem Mittelstück läßt sich so bald oben

Fig. 83.



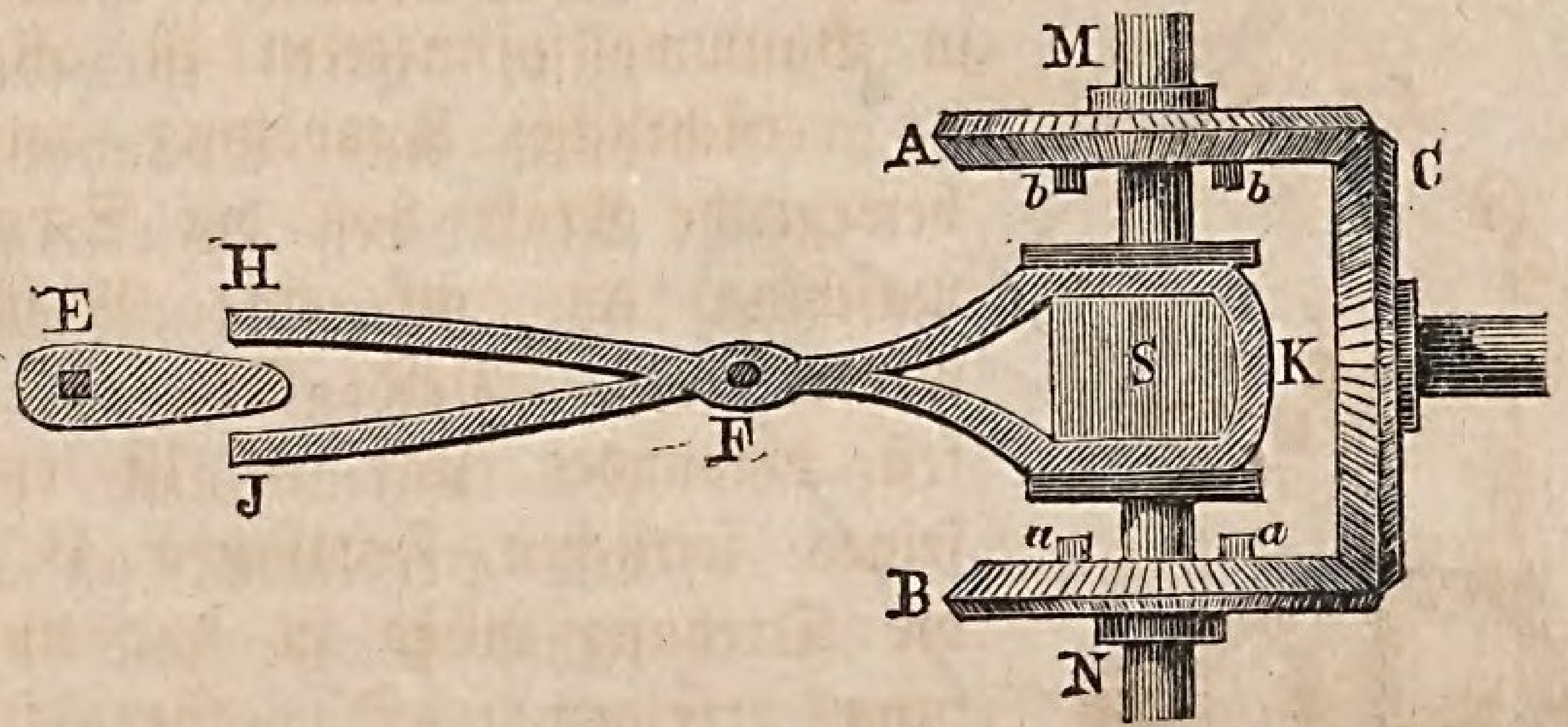
bald unten der Eingriff herstellen, so daß die Welle in dem einen Falle nach dieser, im andern nach jener Richtung gedreht wird. Ein Excentric oder Daumen E, der seine Bewegung von der Maschine erhält, kann zur Bewegung des Hebels und Erzeugung des abwechselnden Eingriffs benutzt werden.

Fig. 84.



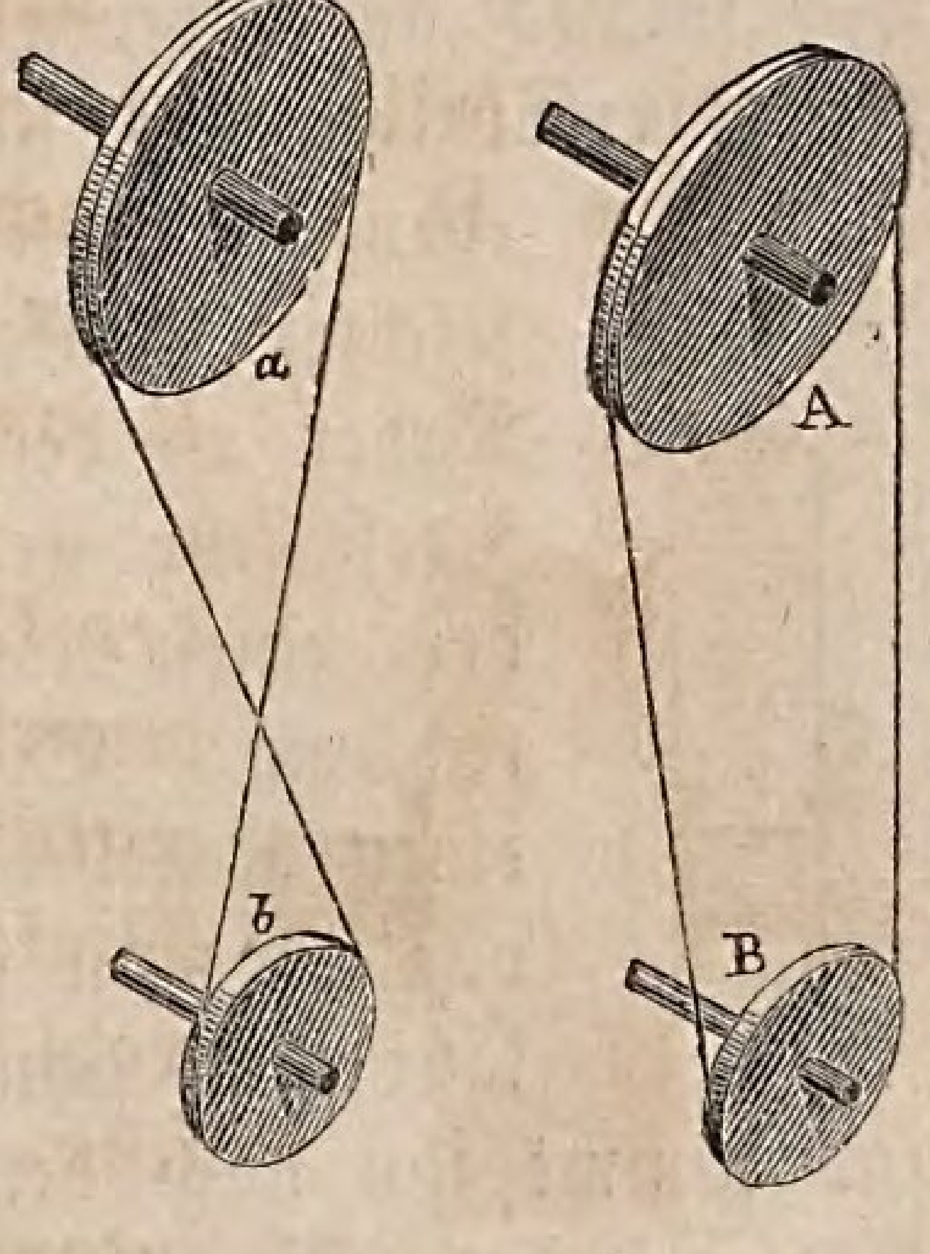
Unter den verschiedenen Mitteln, eine rotirende Bewegung mit derselben Geschwindigkeit auf eine andere Stelle zu übertragen, ist das einfachste und sehr häufig gebrauchte die Anwendung von Laufriemen, Gurten, Seilen oder Schnüren, welche auf Scheiben oder Rädern laufen. Hat der endlose Riemen ꝛc. die gehörige Spannung, so daß er in seinem Lager nicht gleiten kann, so muß natürlich die zu treibende Scheibe sich eben so herumdrehen wie die treibende, d. h. ein Punkt des Umfanges der einen Scheibe wird in derselben Zeit denselben Weg zurücklegen, wie ein Punkt der andern. Sind daher beide Scheiben gleich groß, so werden sie die gleiche Umlaufsgeschwindigkeit haben; sind ihre Durchmesser und also auch ihre Peripherien ungleich, so wird der kleinere Körper offenbar mehr Umläufe machen als der größere, denn ein Punkt, der einen kleinern Kreis zu durchlaufen hat, wird diesen Weg öfter zurücklegen als wenn er mit derselben Geschwindigkeit in einem größern Kreise ginge.

Fig. 85.



Ist daher die Scheibe A doppelt so groß als die Scheibe B, so wird letztere zwei Umgänge machen, während die erstere einen vollbringt, und die Welle von B erhält somit die doppelte Geschwindigkeit der Welle A. Es stehen daher die Umlaufszahlen zweier in der Art verbundenen Scheiben oder Räder immer im umgekehrten Verhältniß zu ihrer Größe, also zu ihrem Durch- oder Halbmesser, und man hat es daher in der Gewalt, durch Vergrößerung und Verkleinerung derselben die Zahl der Umläufe beliebig zu verändern. Beim Uebergange des Riemens von einem großen Rade auf ein beträchtlich kleineres treten indeß leicht Gleitungen ein, und man führt daher lieber die Leitung erst über eine oder auch zwei Zwischenrollen, so daß der Uebergang vom größten zum kleinsten stufenweise erfolgt.

Fig. 86. Fig. 87.

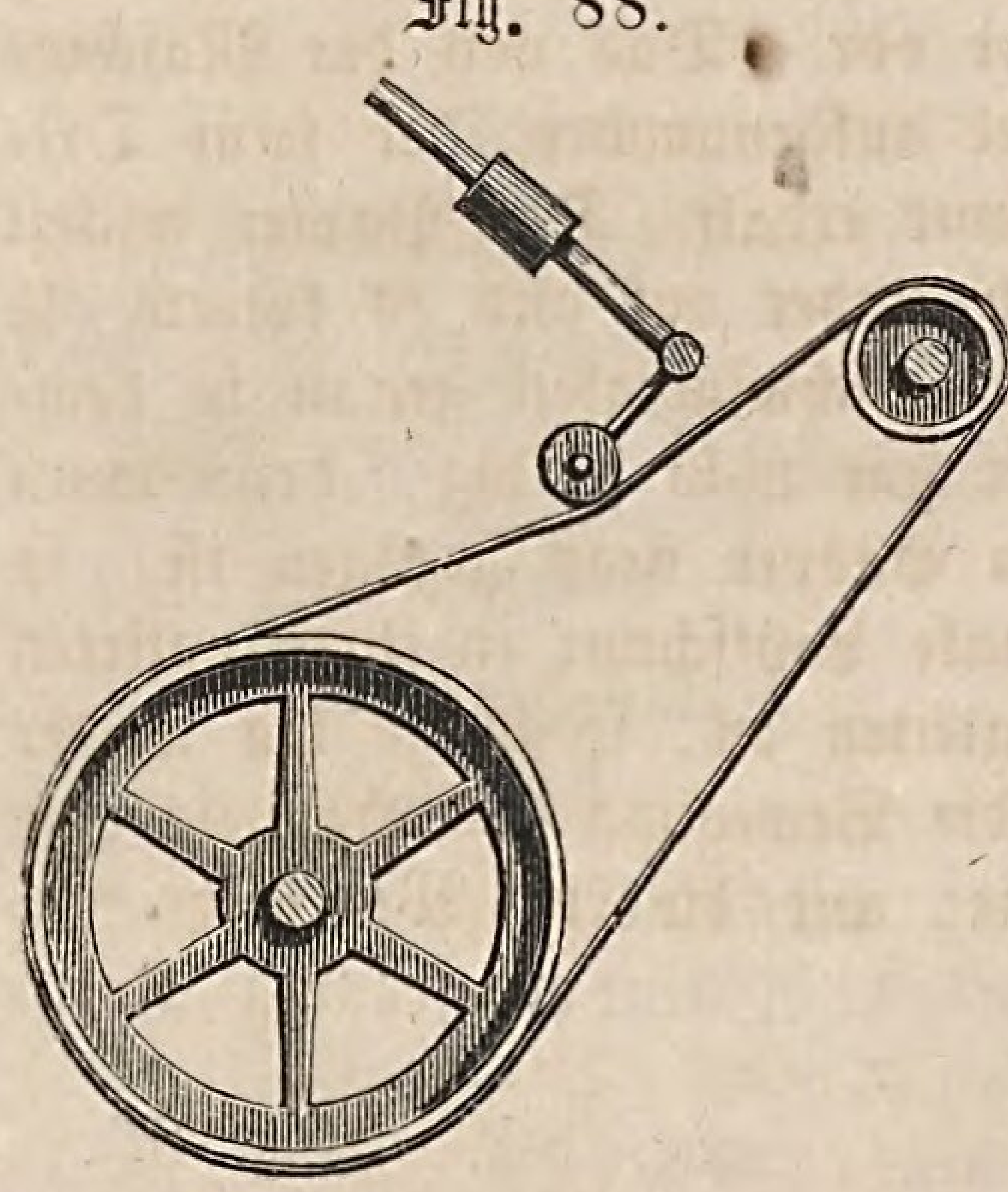


Stärkere Laufriemen oder Gurte müssen bei genauer Berechnung der Umläufe mit in Anschlag gebracht werden, da sie den Umfang des Rades durch

ihre Dicke merklich vergrößern. Man nimmt dabei an, daß die untere Seite des Riemens eine Zusammenpressung, die obere eine Ausdehnung erleide, und verlegt daher die richtige Spannung und die eigentliche Fortrückungsgeschwindigkeit gerade in die Mitte der Riemendicke, woraus dann folgt, daß um genaue Resultate zu erhalten, der Halbmesser der Räder um so viel länger gerechnet werden muß, als die halbe Dicke des Riemens beträgt.

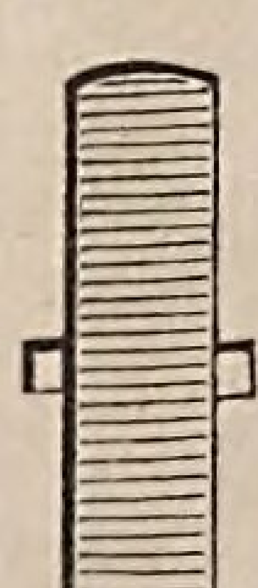
Die Treibriemen 2c. schlingen sich entweder direct um die zu verbindenden Rollen oder sie kreuzen sich zwischen ihnen; im ersteren Falle müssen sich beide Körper in derselben Richtung drehen, im zweiten Falle sind ihre Richtungen entgegengesetzt. Die zweite Lage ist die vortheilhaftere, da hier zwischen Riemen und Rad mehr Berührungspunkte vorhanden sind, wodurch die Reibung vermehrt und damit die Uebertragung sicherer gemacht wird. Die Spannung der Riemen 2c. muß so groß sein, daß das Gleiten so leicht nicht eintreten kann; wird sie größer als nöthig genommen, so werden dadurch die Axen der Rollen zu stark auf ihre Lager gepreßt, mithin der Gang der Maschinerie unnöthig erschwert. Die Spannung wird entweder durch Schnallen oder durch eine Spannungsrolle mit Gewicht regulirt, deren Wirkung aus Fig. 88 ersichtlich ist. Man bringt diese Vorrichtung auch auf der untern Seite an, so daß der Druck von unten nach oben wirkt. Macht man den Hebelarm, an welchem das Gegengewicht zieht, länger und das Gewicht auf ihm verschieblich, so kann man dem Riemen sehr verschiedene Grade der Spannung ertheilen.

Fig. 88.



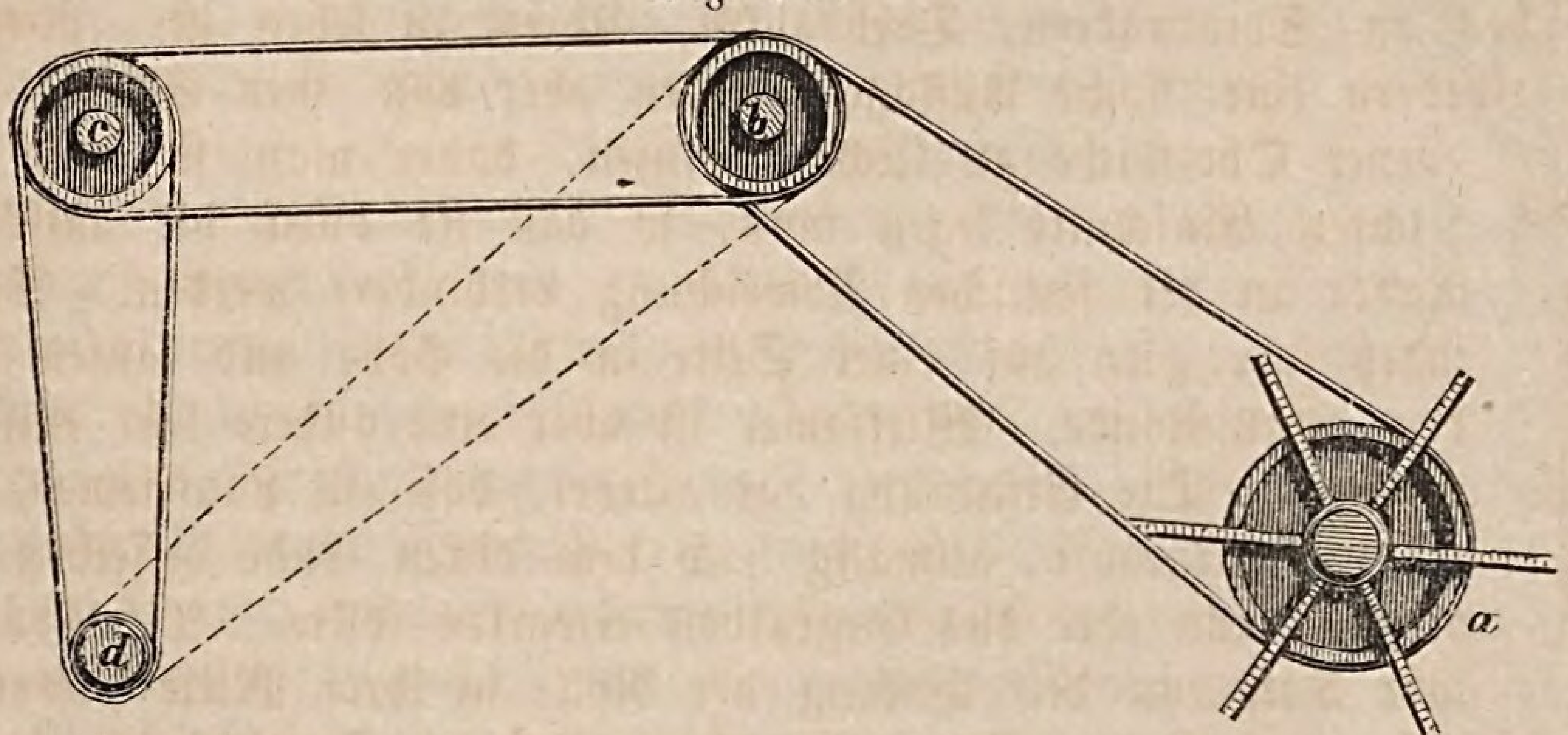
Zur Aufnahme von Schnüren müssen die Rollen an ihrer Oberfläche eine gerundete oder auch keilförmige Austiefung haben, wie solches an Spinnrädern, Drehbänken, Uhren zu sehen ist. Riemen oder Gurte erfordern eine flache Auflage, würden aber von einer Scheibe mit ganz ebener Oberfläche zu leicht ablaufen, daher man sie auch in einen seichten Einschnitt legen muß, so daß sie durch die aufspringenden Räder an der seitlichen Abweichung verhindert werden. Sie steigen indeß sehr gern auf einer Seite in die Höhe und laufen dann auf dem einen Rande. Wirksamer ist aber eine andere sehr einfache Einrichtung. Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein Laufriemen, der über einen Kegel läuft, allmälig nach dem dicken Ende desselben fortrückt, obgleich man eher das Gegentheil erwarten sollte. Auf Grund dessen läßt man nun den Umfang der Rolle in ihrer Mitte etwas größer, und nimmt ihn nach beiden Seiten hin ab, so daß der Durchschnitt einen flachen Bogen bildet (Fig. 89). In Folge seiner Neigung, sich immer nach der höchsten Stelle zu begeben, wird sich der Riemen auf einer solchen Rolle stets genau in der Mitte halten.

Fig. 89.



Die durch Riemen u. s. w. mitgetheilte Bewegung ist eine besonders sanfte, ohne Geräusch und Erschütterung. Sowohl deshalb als wegen ihrer großen Einfachheit bringt man sie überall an, wo es thunlich, d. h. wo die zu übertragende Kraft keine gar zu große ist und nicht das Geschwindigkeitsverhältniß ein ganz exactes sein muß. Denn da die Bewegungsmittheilung hier lediglich durch Reibung vermittelt wird, so ist man vor größeren oder kleineren Rückungen nie ganz sicher; so würde es z. B. unthunlich sein, an Uhren die Bewegung von dem Stundenzeiger auf den Minutenzeiger, der sich genau mit der 12fachen Geschwindigkeit drehen muß, durch ein endloses Band zu übertragen. Bei der größern Maschinerie kommt es indeß auf kleine Differenzen häufig nicht an, und es kann die Neigung zum Gleiten hier, wenn sie nicht übermäßig ist, sogar ihren Nutzen haben. Käme z. B. in der getriebenen Maschine ein ungewöhnlicher Widerstand, eine plötzliche Stockung vor, so ist es möglich daß dieselbe vor Schaden und Bruch dadurch bewahrt bleibt, daß der Riemen auf der Triebscheibe zu gleiten anfängt. An der Papiermaschine kommt eine Compensation durch Gleitung selbst im regelmäßigen Gange immerfort vor. Das von der Maschine kommende endlose Papier wird von einem Haspel aufgenommen, der seine Drehung von der Maschine aus mittelst einer Laufschnur erhält. Das Papier wickelt sich demnach zu einem immer stärker werdenden Cylinder auf und es könnte als eine schwere Aufgabe erscheinen, seine Umdrehungsgeschwindigkeit genau in demselben Maße abnehmen zu lassen. Dies ist aber gar nicht nöthig, denn wenn die Papierfläche zwischen der Maschine und dem Haspel straff gezogen ist, so fängt die durch ein Gewicht entsprechend gespannte Laufschnur in ihrer polirten Rinne auf der Scheibe des Haspels sofort zu gleiten an, so lange bis wieder etwas Papier vorgeschoben ist. Hierdurch wird die Bewegung des Haspels eine ab und zu von kleinen Stillständen unterbrochene, und die Aufgabe ist in einfachster Weise gelöst.

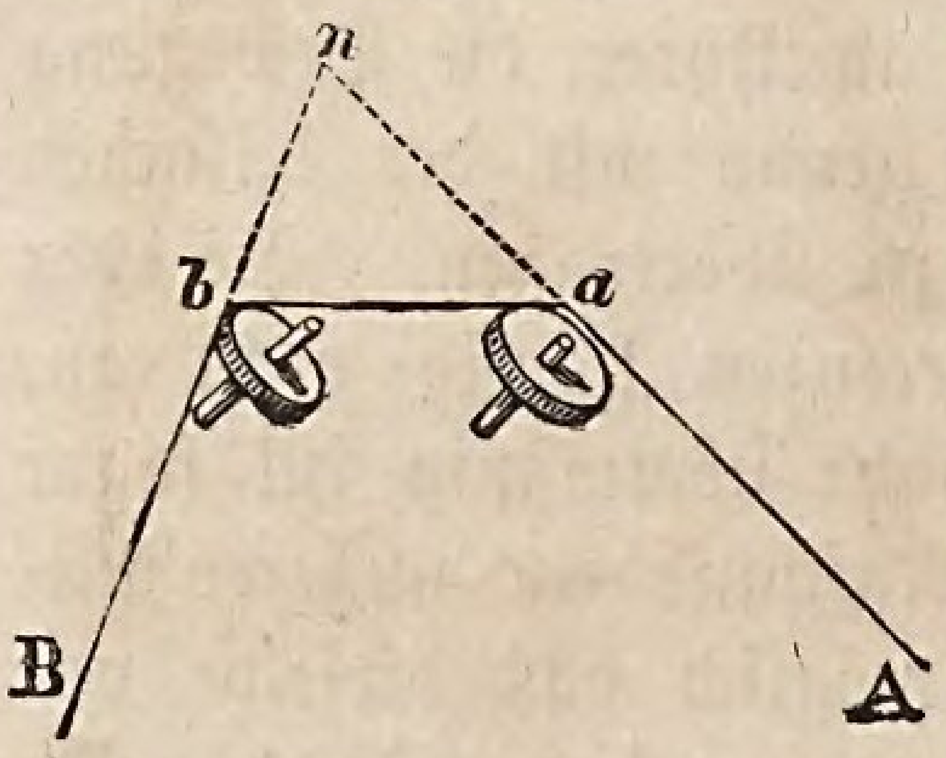
Fig. 90.



Die Riemenrolle bietet das einfachste Mittel, Bewegungen in verschiedenen Richtungen umherzuleiten und auf verschiedene Punkte zu vertheilen. Sollte z. B. (Fig. 90) die Bewegung von a nach d übertragen werden und es wäre der directe

Weg dahin versperrt, so macht man einen Umweg, indem man vielleicht nach b und von da nach d geht, oder wenn auch dies nicht thunlich, den Weg über c einschlägt. Die Rollen b c werden dann blos den Dienst von Leitrollen verrichten; indeß könnte ihnen eben so gut auch noch andere Arbeit zugetheilt sein.

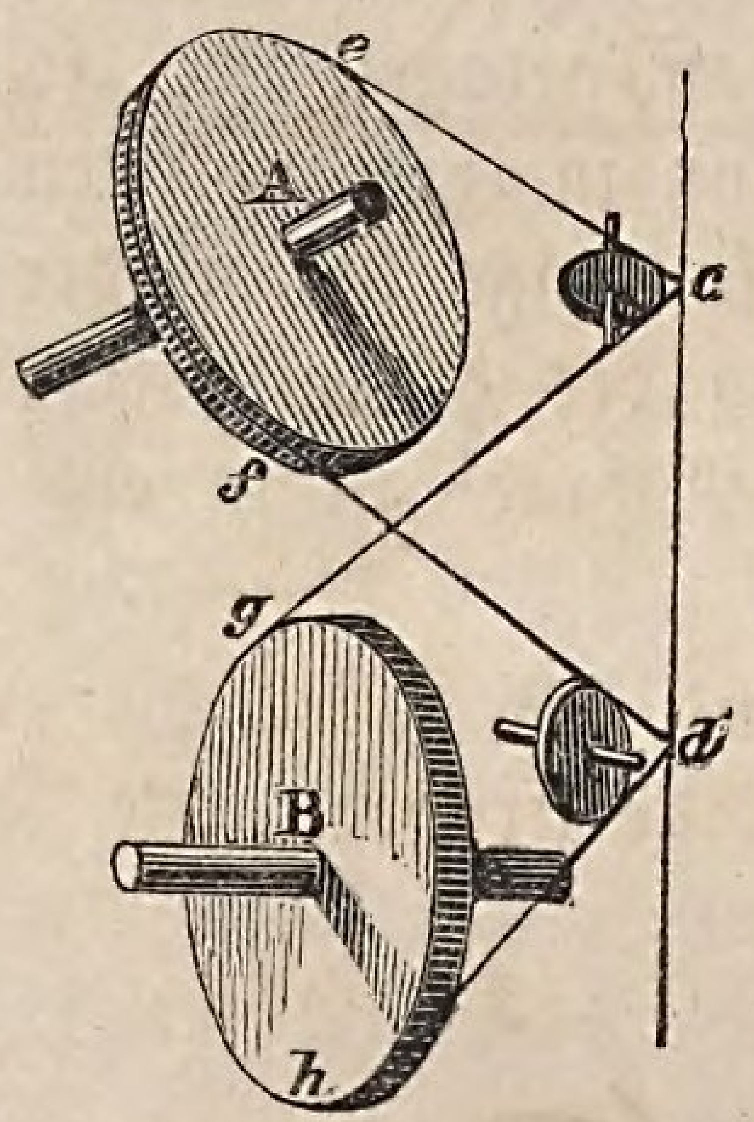
Fig. 91.



Um einem Laufbande eine andere Richtung zu geben, ist schon eine einzelne Leitrolle hinreichend; es kann z. B. die Richtung A n in die n B einfach dadurch verwandelt werden, daß man bei n eine Leitrolle setzt. Dies ist indeß nur dann thunlich, wenn beide Richtungen, wie hier auf dem Papier, in einer Ebene liegen; wo dies nicht der Fall ist, also beide Richtungen sich nicht in irgend einem Punkte schneiden, sind zwei Leitrollen nöthig, die an einer passenden Stelle wie an a b angebracht werden und deren Axen senkrecht auf der Ebene stehen müssen, an welcher das Band sich in der betreffenden Stelle bewegt.

Zwei Rollen, deren Axen weder parallel sind noch sich in ihrer Verlängerung schneiden, können durch Einschalten von Leitrollen mittelst Laufbändern verbunden werden. In Fig. 92 sei c d die Durchschnittslinie der beiden Ebenen der Rollen A B; in dieser Linie werden zwei bequem gelegene Punkte zur Anbringung der Leitrollen gewählt; von diesen Punkten aus nach dem Umfange der Rollen A B gezogene Tangenten geben die Bahnen des endlosen Bandes, und die Ebene, in welcher die Punkte e c g liegen, bestimmt die Axenstellung der Leitrolle e, sowie andererseits die Ebene f d h die der Rolle d.

Fig. 92.



Bei großen Kraftübertragungen wendet man statt des Riemens mitunter Ketten an, die in verschiedenen Formen vorkommen (Beispiele Fig. 93, 94). Dem Gleiten ist damit allerdings vorgebeugt, aber der Gang solcher Räder ist, da die Verbindung aus einzelnen starren Gliedern besteht, etwas ungleichförmig und stoßend.

Liegen die treibenden und zu treibenden Axen einander nahe genug, oder ist aus irgend einer Ursache die Anwendung von Treibriemen u. dgl. nicht passend, so setzt man sie durch Scheiben oder Räder in unmittelbare Verbindung. In einzelnen Fällen, wo nur geringe Widerstände zu überwinden sind, kann die Reibung allein hinreichen, das Zusammenlaufen der beiden Stücke zu bewirken; meistentheils jedoch muß der Eingriff durch Verzahnungen gesichert werden. Bei zwei übereinanderliegenden Walzen erzeugt in der Regel die obere schon durch ihre Eigenschwere so viel Reibung, daß sie in entgegengesetzter Richtung umläuft, wenn die untere gedreht wird. Solche Walzenpaare finden u. a. in der Baumwollspinnerei häufig Anwendung. Hier ist übrigens die untere Walze der bessern Wirkung halber der Länge nach fein geriefelt, die obere mit Leder überzogen. Die einfache aber sehr werthvolle Wirkung dieser

Walzen beruht darauf, daß das eine Paar sich rascher dreht als das andere und also mehr Baumwolle aufzunehmen strebt als jenes hergiebt, und die Folge davon ist daß die Faserbündel (Bänder) zwischen beiden Walzenpaaren eine Ausdehnung erleiden, gestreckt werden, was eben der Zweck ist.

Fig. 93.

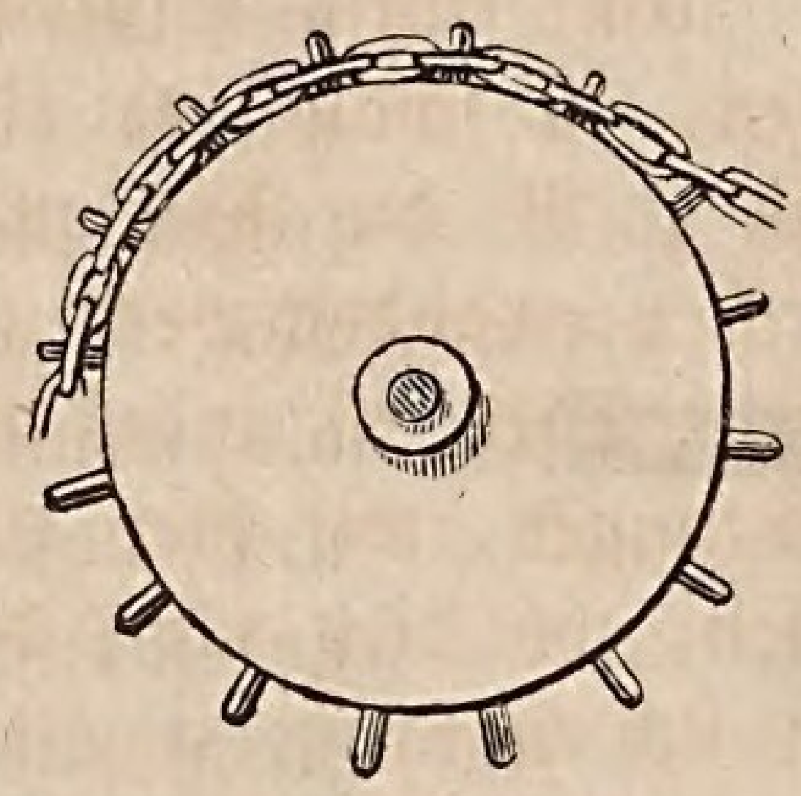
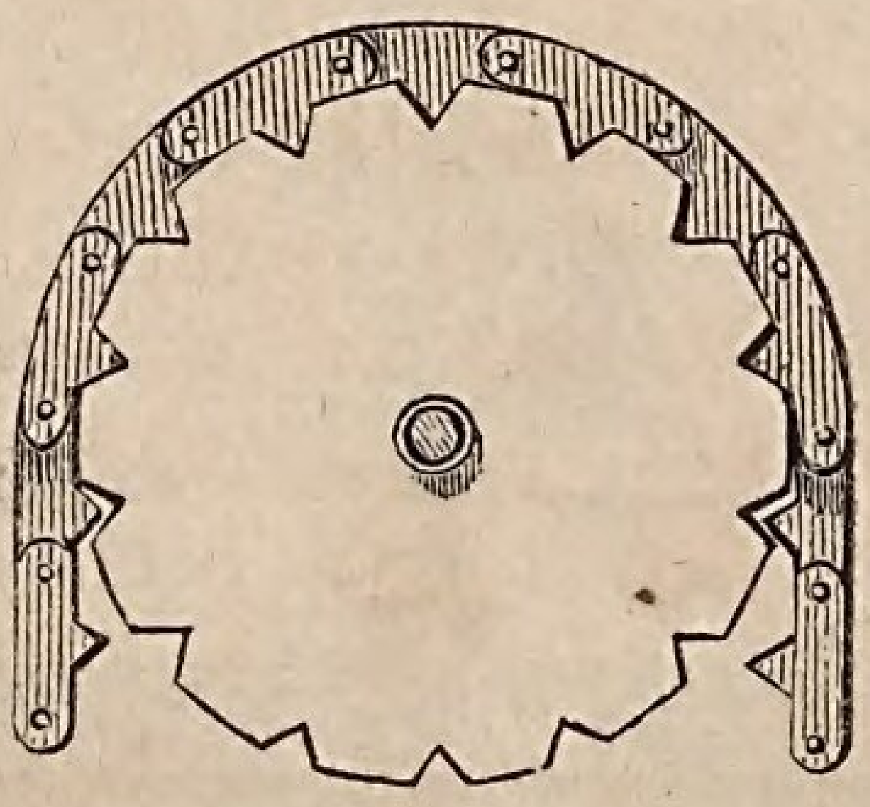
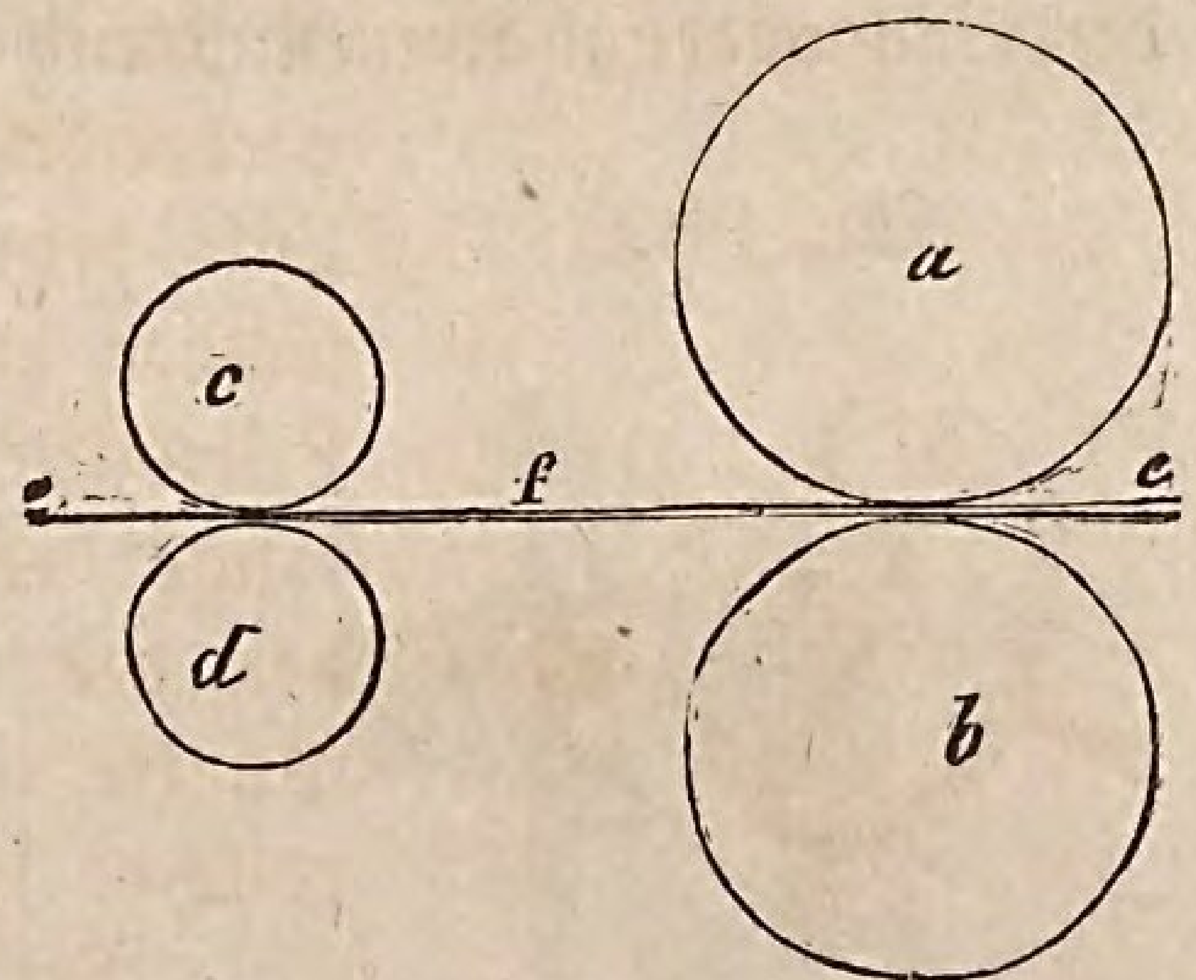


Fig. 94.



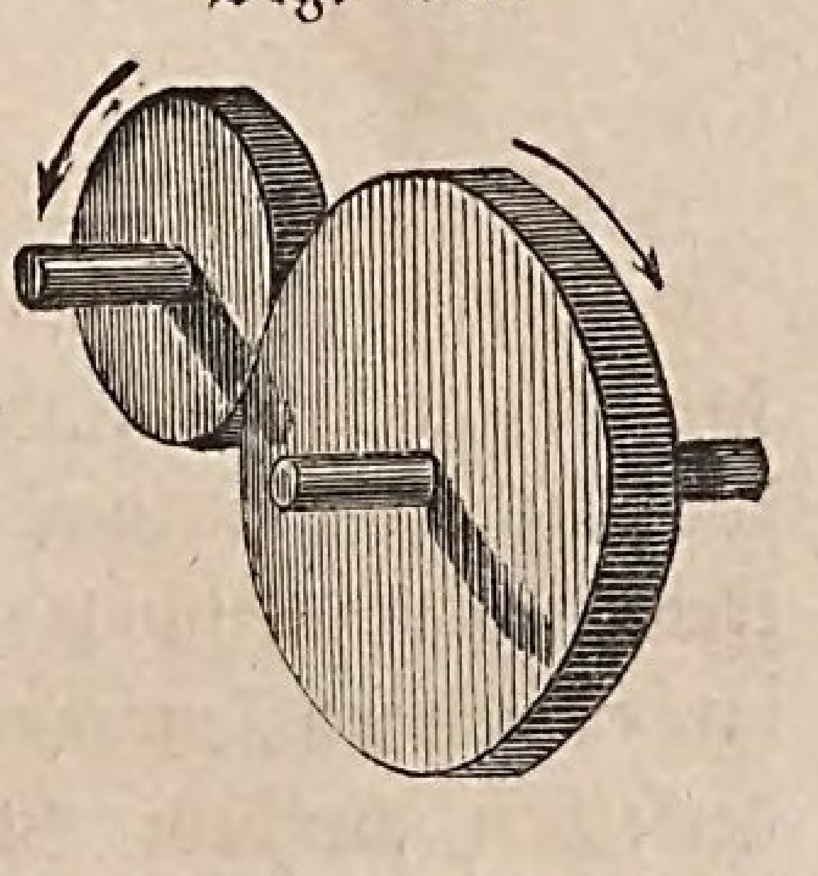
Wie in Fig. 95 zwei Walzen, so werden auch zwei neben einander stehende Scheiben durch die bloße Reibung mit einander laufen, wenn sie in einem gewissen Grade an einander gepreßt werden und die sich berührenden Flächen etwas rauh sind. Die Bewegung wird in diesem Falle eine sehr gleichmäßige und sanfte sein, indeß zu Ueberwindungen bedeutender Widerstände nicht gebraucht werden können, da dann die Reibung überwunden werden und der zu treibende Körper stehen bleiben würde. In den Fällen, wo diese Vorrichtung ausreicht, überzieht man die sich auf einander bewegenden Flächen zur Vermehrung der Reibung gewöhnlich mit Leder; sonst aber besetzt man sie mit Zähnen, d. h. regelmäßigen in einander greifenden Vorsprüngen.

Fig. 95.



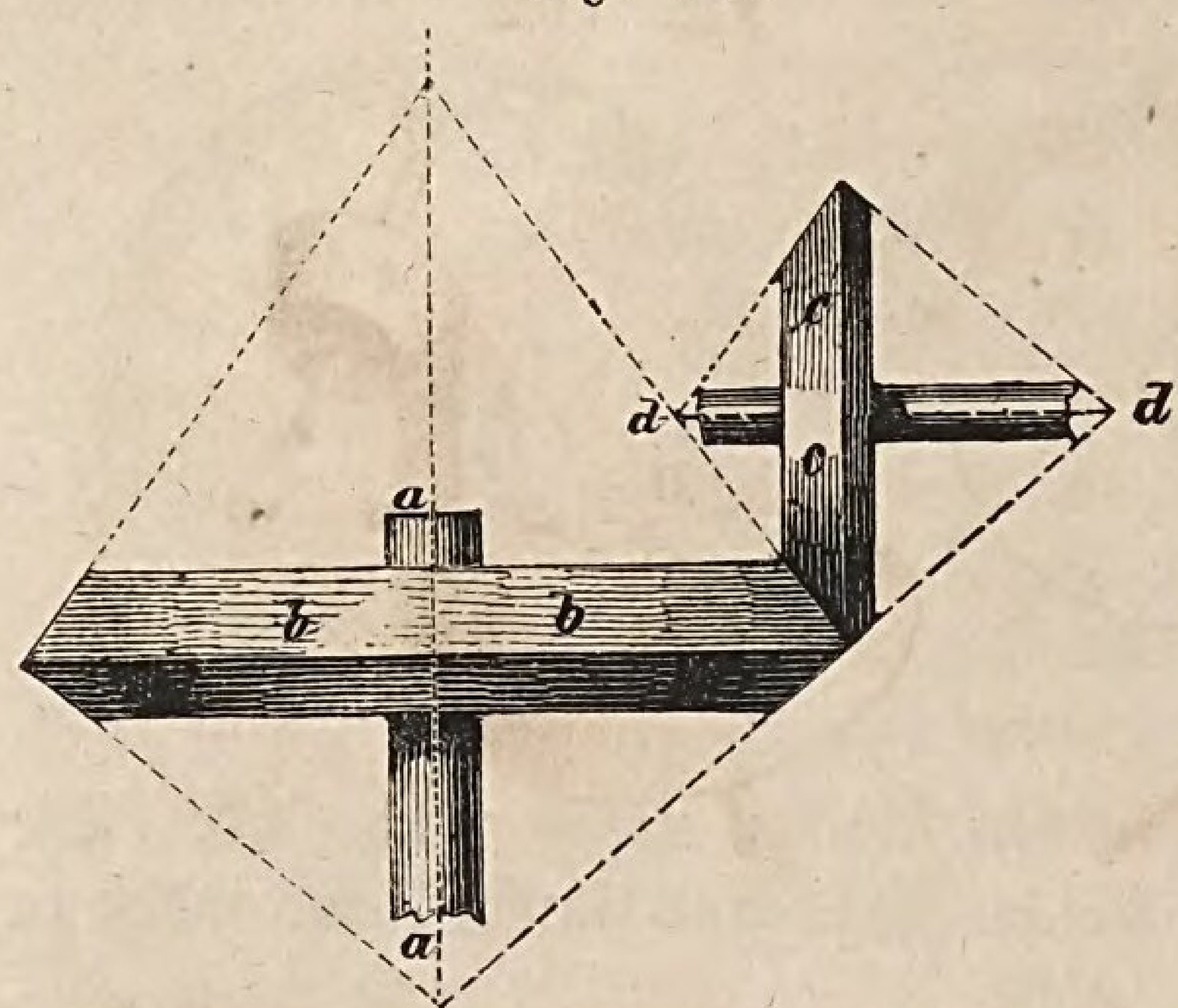
Aus den Figuren 97, 98, 99 ist ersichtlich, daß die zu verbindenden Axen nicht nothwendig parallel neben einander liegen müssen, sondern auch andere Richtungen haben können. In Fig. 97, 98 und 99 bilden die zu verbindenden Axen rechte Winkel; sie wurden in diesem Falle früher, wie in deutschen Mühlen noch jetzt, in der aus Fig. 99 ersichtlichen Art verbunden. Die Zähne des Rades greifen hierbei in die Treibstöcke eines Drilling oder Laterne genannten Stückes, und die Geschwindigkeit der Bewegungen ist, wie in allen ähnlichen Fällen, dem Durchmesser beider Stücke umgekehrt proportional. In neuerer Zeit, wo die Maschinenräder meist aus Eisen gegossen werden, sind die sog. konischen oder Winkelräder (Fig. 97 und 98) in allgemeine Aufnahme gekommen. Konische Räder heißen sie deshalb weil die sich auf einander bewegenden Flächen, wie Fig. 97 veranschaulicht, Theile von Kegeln bilden. In Fig. 100, 101 bilden die zu verbindenden Axen spitzere Winkel; sie werden indeß ganz gut mit einander laufen, wenn die Räder den Winkeln entsprechend geformt sind. Die folgende Fig. versinnlicht einen Fall, wo zwei Axen A und B in ganz verschiedenen Ebenen liegen. Um sie in treibende Verbindung zu setzen, ist ein

Fig. 96.



Zwischenkörper nöthig, der das Mittelstück eines doppelten Kegels bildet. Die Axe dieses Zwischenrades liegt in einer Linie, welche die Axen A B oder ihre Verlängerung an passenden Punkten schneidet. Der Punkt C bildet die gemeinschaftliche Spitze der Kegel e f, so wie D die Spitze für g h. Es erfolgt somit die Uebertragung der Bewegung von A auf B oder umgekehrt ganz so, als wenn sie direct auf einander wirkten, nur daß ihre Bewegungen nun nich gegenläufig sind, sondern einerlei Richt tung haben. Die Umlaufsgeschwindigkeiten aber werden durch kein Zwischenrad, möge es groß oder klein sein, abgeändert.

Fig. 97.



Sonach können Axen, seien sie parallel oder nicht, durch konische Zwischenräder verbunden und ihnen beliebig die eine oder andere Richtung der Bewegung ertheilt werden. In den meisten Fällen werden die Räder aber der sichern Wirkung willen verzahnt sein müssen. So verbinden in Fig. 103 die konischen Zwischenräder B und E, welche auf derselben Axe festsitzen, das treibende Rad A mit den zu treibenden C und D; C hat mit A einerlei Richtung, D die entgegensetzte. Es können sich vermöge eines Zwischenrades auch zwei Räder an einer und derselben Axe entgegengesetzt drehen, wie in Fig. 104, welche zugleich zeigt, daß auch drei zusammengesetzte konische Räder eine gemeinschaftliche Kegelspitze (in p) haben müssen. Das treibende Rad ist hier E; es greift sowohl in A als in B ein und dreht beide im entgegengesetzten Sinne. Damit dies möglich, kann natürlich nur das eine derselben auf der Welle c festsitzen, das andere ist auf ihr beweglich und sitzt auf der Büchse a. Da E ein Zwischenrad ist, so ändert es an dem Verhältniß der Umdrehungsgeschwindigkeiten von A und B nichts; dieses hängt lediglich von der Zahl der Zähne beider Räder, mithin von ihrer beziehentlichen Größe ab.

Fig. 98.

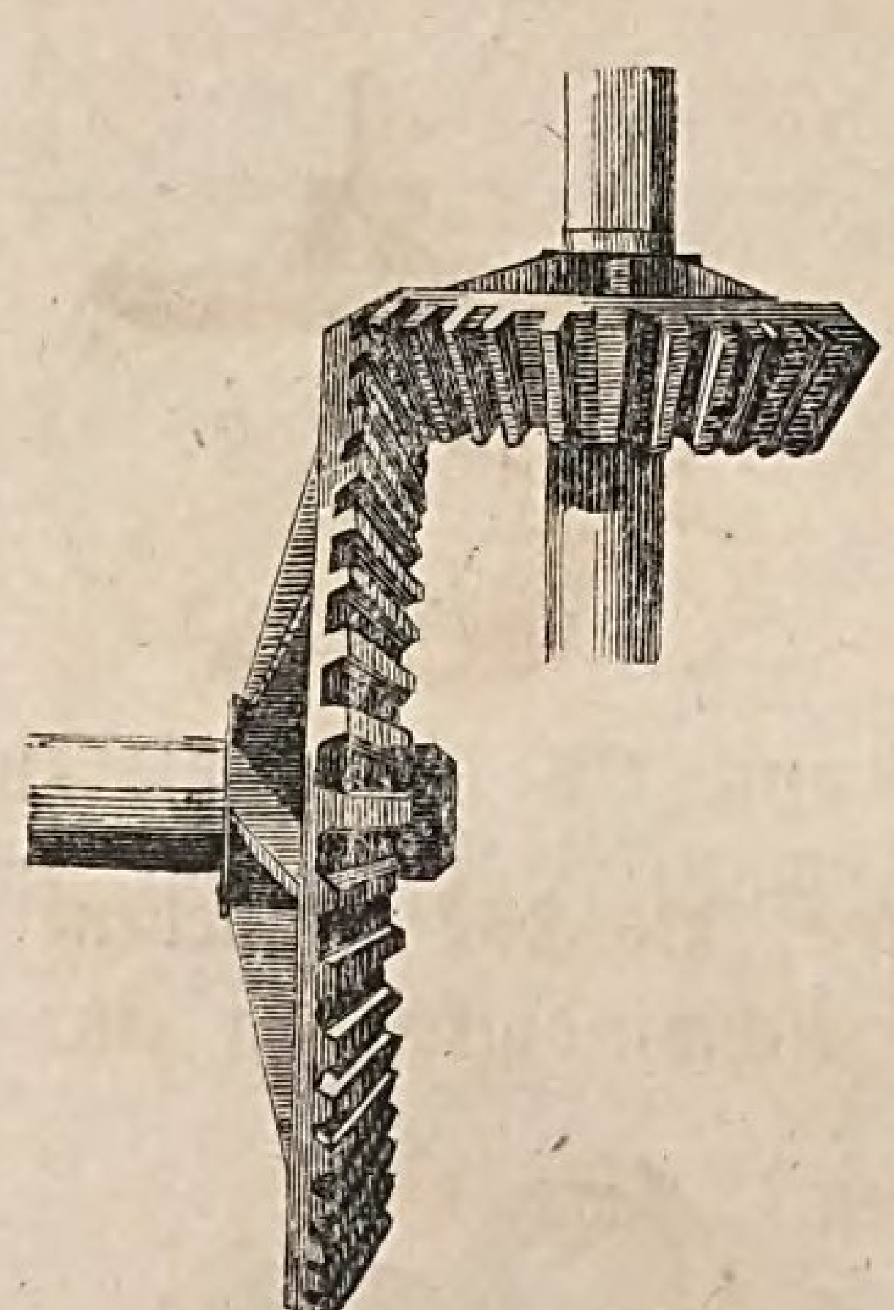
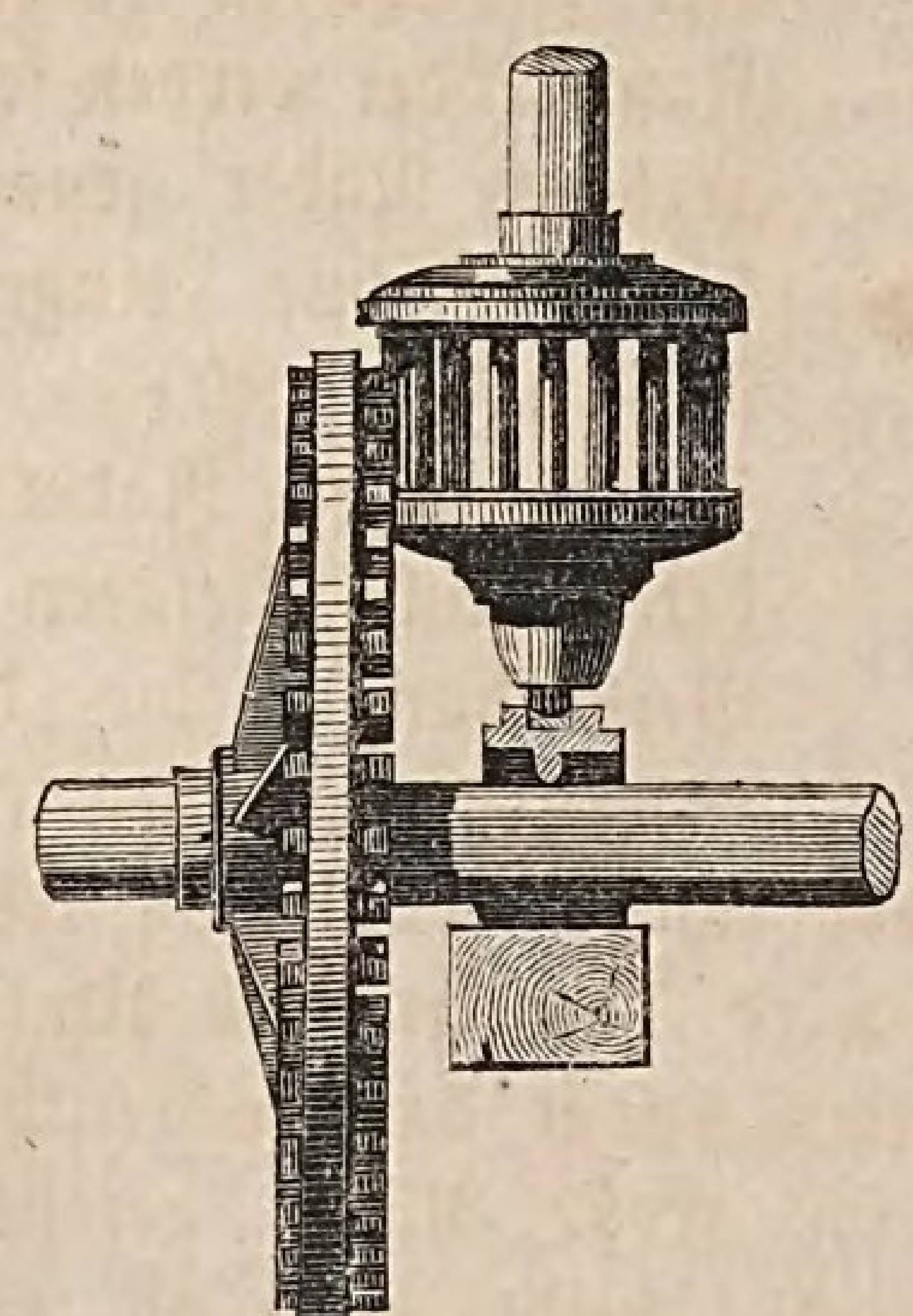


Fig. 99.



Liegen zwei Wellen, parallel oder nicht, so nahe beisammen, daß sie nicht wohl durch ein paar Räder direct verbunden werden können, so bleibt noch der

Ausweg, die Räder hintereinander zu legen, und sie, wie Fig. 105 zeigt, durch ein Zwischenrad zu verbinden, das in beide eingreift und daher so dick als beide zusammen sein muß.

Fig. 100.

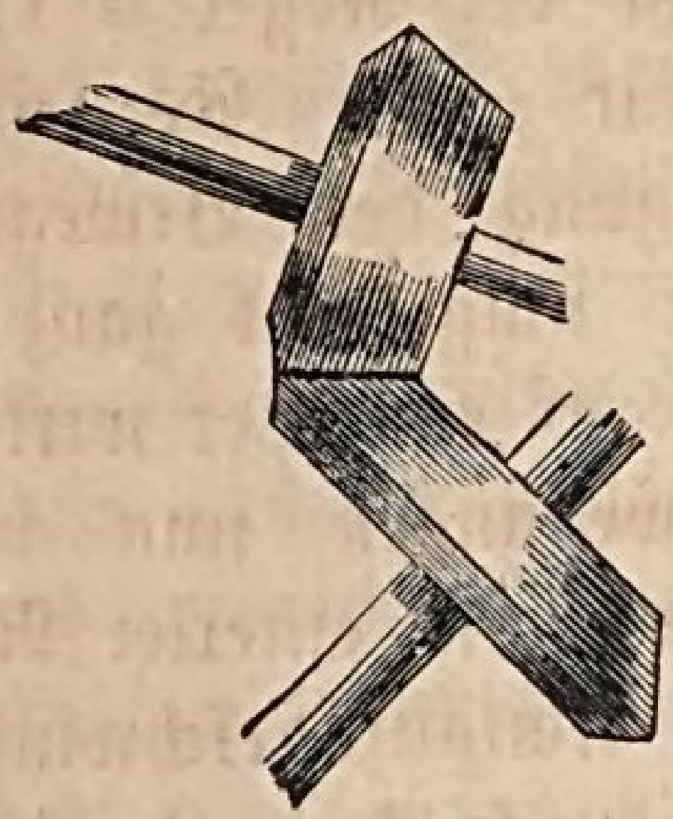


Fig. 101.

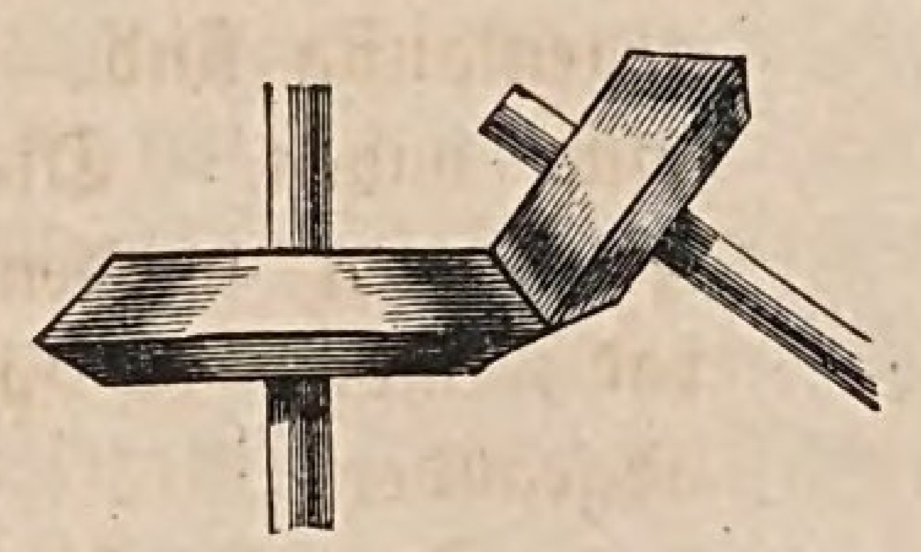
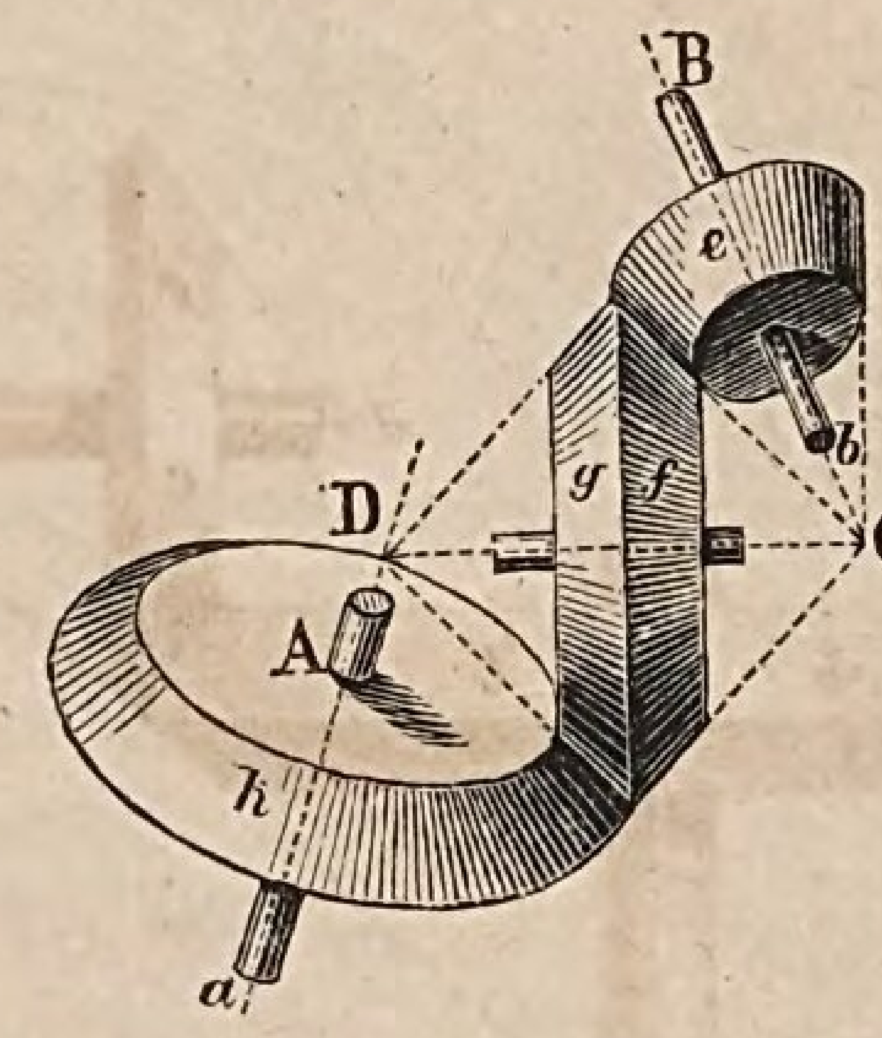


Fig. 102.



Zu den bisher betrachteten Räderformen kommt als die am häufigsten angewandte noch das Stirnrad (Fig. 106) dessen Zähne auf dem Umfange des Rades und senkrecht zur Axe stehen, so wie das Kronrad mit seitwärts stehenden, parallel zur Axe gerichteten Zähnen. Kammräder werden solche gezahnte Räder genannt, deren Zähne eingesetzt sind (Fig. 99). Oft stehen größere Räder mit beträchtlich kleinern in Verbindung, die dann Getriebe heißen (Fig. 106 a, 107 b). Das Getriebe kann sowohl das treibende, als das getriebene Stück sein; im erstern Falle wird eine größere Umlaufsgeschwindigkeit in eine geringere verwandelt, im zweiten findet das Gegentheil statt. Ein zwischen zwei gleich große Räder gesetztes Getriebe ändert die Geschwindigkeit beider nicht ab, sondern macht nur, daß beide sich in einerlei Richtung drehen. Ein inneres Getriebe, d. h. ein solches das auf die Innenseite eines Radkranzes wirkt, giebt, wie leicht ersichtlich, dem Rade nicht die entgegengesetzte, sondern die Richtung der Bewegung, die es selbst hat.

Fig. 103.

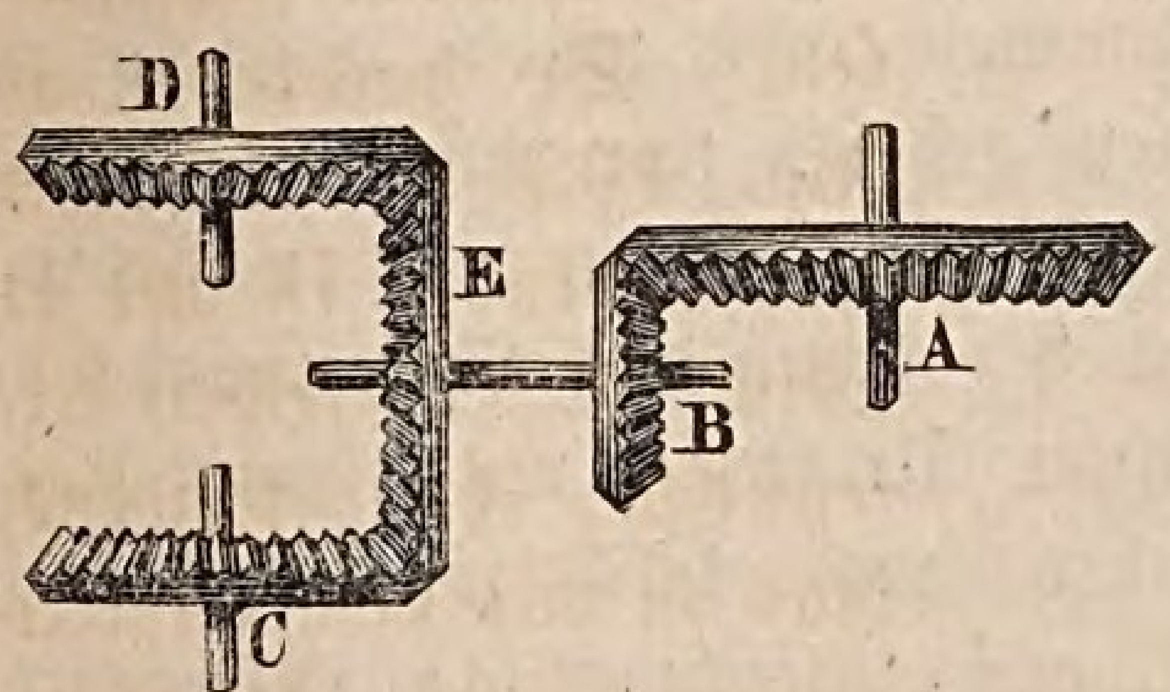


Fig. 104.

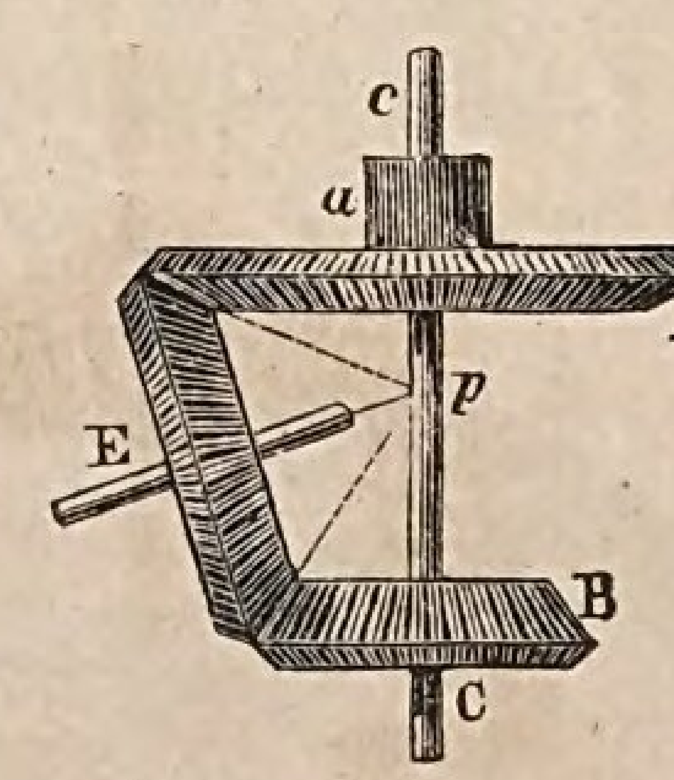
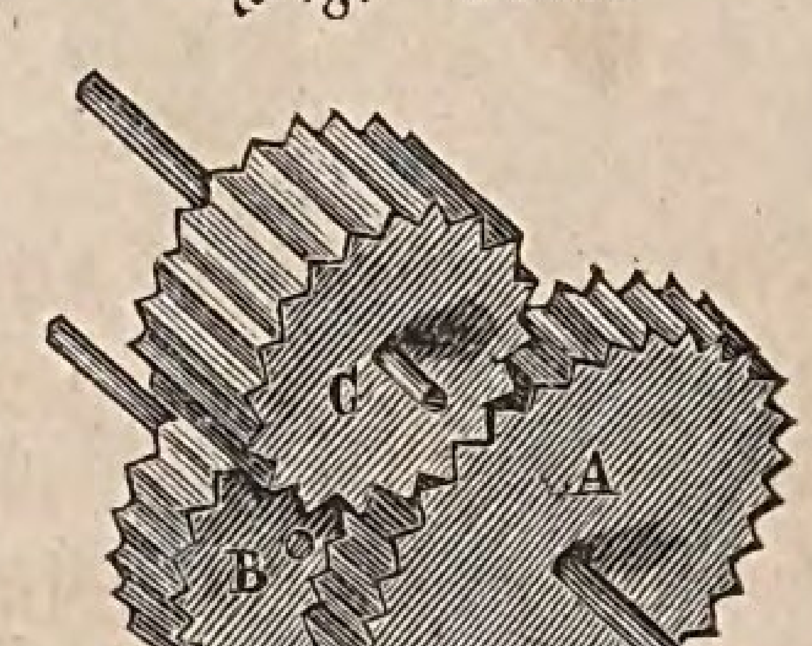


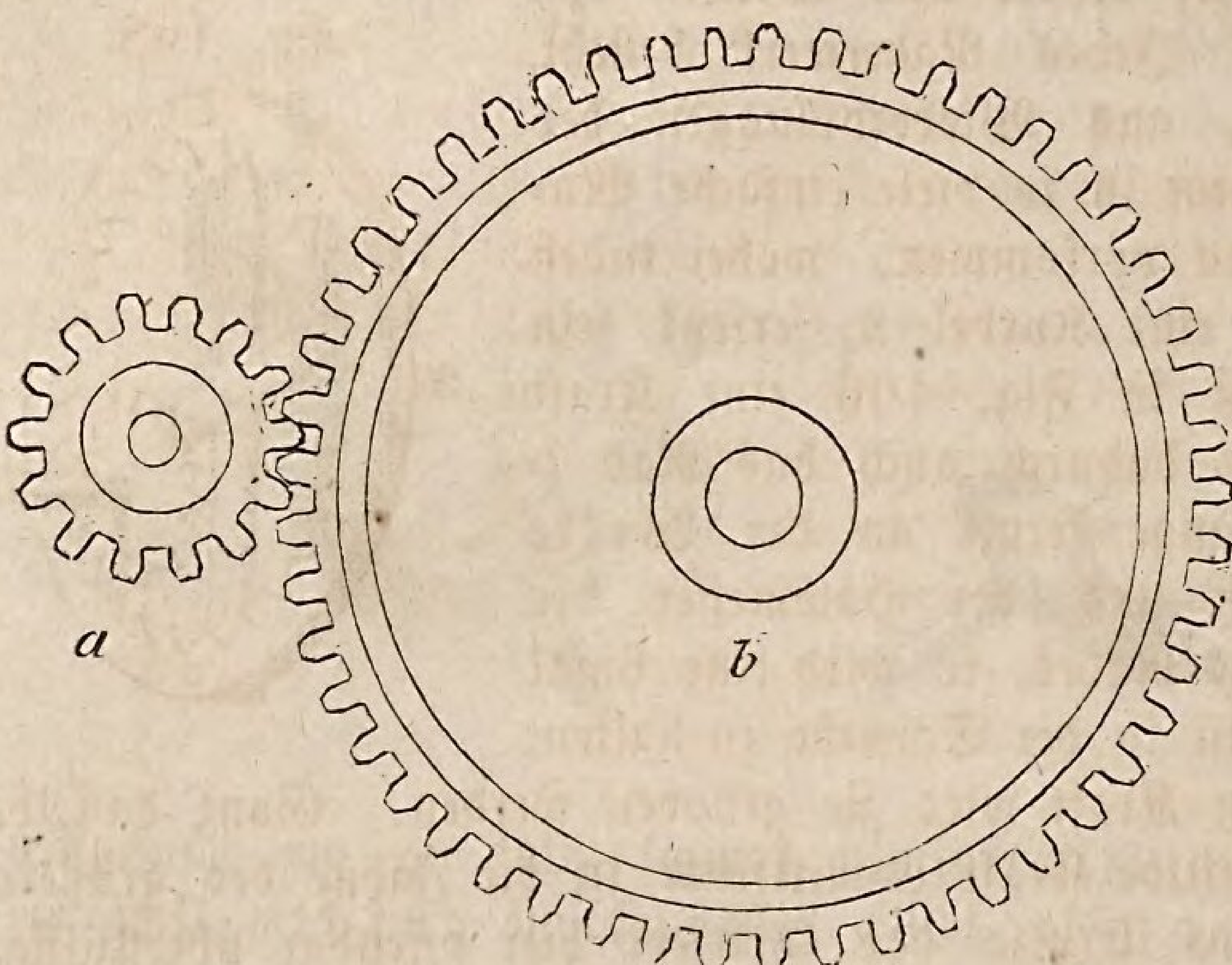
Fig. 105.



Auch bei verzahnten Rädern verhalten sich natürlich die Geschwindigkeiten wie die Durch- oder Halbmesser; da diese aber hier nicht sogleich ersichtlich sind, so bestimmt man das Geschwindigkeitsverhältniß leichter nach der Zahl der Zähne, denn diese haben, seien die verbundenen Räder an Größe auch noch so verschieden,

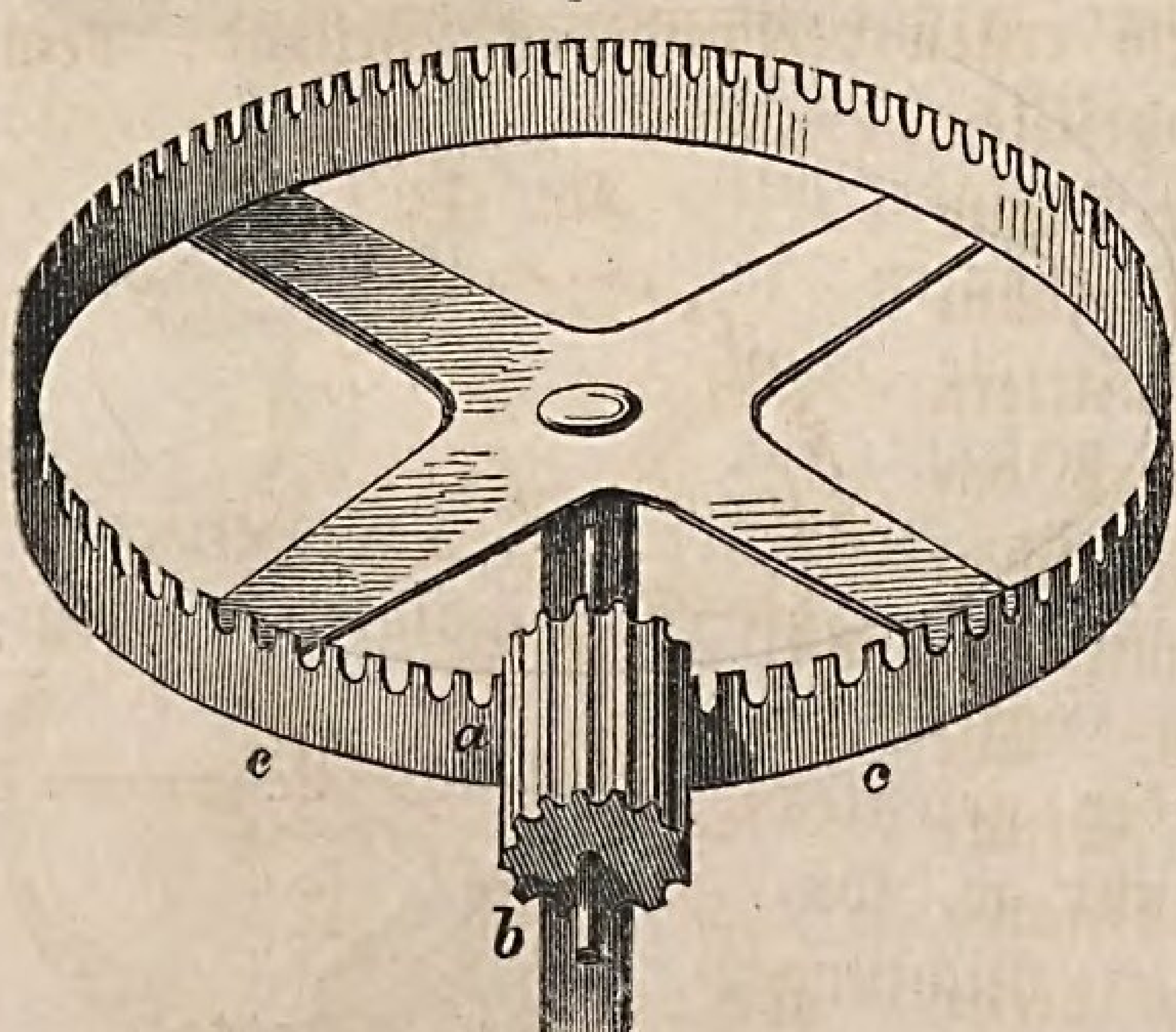
nothwendig an beiden ganz gleiche Größe und gleichen Abstand, und können daher eben so gut wie die Halbmesser zum Maßstabe der Geschwindigkeiten dienen.

Fig. 106.



Es habe z. B. ein Getriebe 12 Zähne, ein mit diesem kämmendes Rad 96, so findet man durch Division, daß die Geschwindigkeiten beider Körper sich wie 1 zu 8 verhalten, daß also das kleine Rad 8 Umgänge macht, ehe das große einmal herum kommt. Es ist nicht unbedingt nöthig, obwohl bequem für die Berechnung und daher in der Regel beobachtet, daß die Zahl der Zähne eines Rades ein Vielfaches von der seines Getriebes sei, denn es kommt, damit beide Stücke gut mit einander laufen, lediglich darauf an, daß die Zähne zusammen passen. So könnte man den Umfang obigen Rades um die Kleinigkeit erweitern, daß gerade noch ein Zahn Platz darauf hätte, und das Zusammenlaufen würde eben so gut von statten gehen, nur wären dann die Umlaufsgeschwindigkeiten nicht mehr rein wie 1 zu 8, denn das Rad würde bei jedem seiner Umläufe um einen Zahn zurückbleiben und dies würde die in Rücksicht auf gleichmäßige Abnutzung ganz wohlthätige Folge haben, daß nach 97 Umläufen alle Zähne des einen Stückes mit allen Zähnen des andern in Berührung gekommen wären, während bei dem erst angenommenen einfachen Verhältniß jeder Zahn des Getriebes überhaupt nur 8 bestimmten Zähnen des Rades begegnen kann.

Fig. 107.



Das Verhältniß der Umgänge eines treibenden und eines getriebenen Rades wird Uebersetzung genannt. Ist das Treibende das Größere, so findet eine Uebersetzung ins Schnellere, im andern Falle eine ins Langsamere statt. Durch die Verschiedenheit der Umläufe wird aber die Größe der übertragenen Kraft, geschehe die Uebertragung nun durch Verzahnung, durch Riemen oder sonst wie, in nichts geändert, da ja die Umfangsgeschwindigkeit der zwei verbundenen Körper dieselbe bleibt, also ein Punkt an der einen Peripherie, an welchem man sich eine wirkende Kraft denkt, dieselbe Wegeslänge beschreiben muß als ein Punkt

an der andern, an welchem eine Last entgegenwirkt. Die Räder hätten dann augenscheinlich blos eine den Leitrollen analoge Function, und es liegt daher die Wirksamkeit von Räderwerken in Bezug auf Concentration der Kraft lediglich in der Wechselwirkung ihrer Räder und Wellen, also von ungleicharmigen Hebeln. Jedes Räderwerk besteht, wie wir schon früher sahen, aus Wiederholungen des Rades an der Welle, und kann in so viele einfache Maschinen zerlegt werden als Axen vorkommen, wobei indeß die Welle durch ein Getriebe, eine Kurbel 2c. ersetzt sein kann. Denken wir uns, daß in Fig. 106 eine Kraft in das Getriebe a griffe und dadurch auch das Rad b in Umdrehung versetze; es hänge ferner an der Welle von b eine aufzuwindende Last und der Halbmesser der Welle betrage $^1/_6$ von dem des Rades, so wird eine 6mal kleinere Kraft hinreichen, die Last in der Schwebe zu halten, und durch einen Ueberschuß an Kraft wird sie gehoben werden. Ganz dasselbe findet aber statt, wenn wir dieselbe Kraft unmittelbar in die Zähne des größern Rades eingreifen lassen, und es ist also das Getriebe hier offenbar überflüssig. Würden wir aber in die Welle des Getriebes einen Hebel stecken, der 6mal länger wäre als dessen Halbmesser, so würde der am ersten Rade gewonnene Vortheil sich hier abermals versechsfachen; eine hier wirkende Kraft würde einer 36fachen Last an der Welle des ersten Rades gleich sein. Geben wir dem Getriebe rings herum gleiche Hebel und verbinden sie mit einem Radkranze, so haben wir ein zweites vollständiges mit dem ersten verbundenes Wellrad, dem wir in ganz gleicher Weise ein drittes zugesellen können u. s. w. Es sei in nebenstehender Figur das obere Rad der Treiber, er habe 48 Zähne und greife in das 8zähnige Getriebe des mittlern Rades; die Umlaufsgeschwindigkeit dieses wird dadurch das 6fache des erstern. Der Einfachheit sollen auch das 2. und 3. Rad je 48 Zähne und das 2. und 3. Getriebe je 8 Zähne haben. Die Geschwindigkeit wächst somit durch alle Stücke hindurch um das $6 \times 6 \times 6 = 216$fache, d. h. während sich das obere Rad einmal dreht, läuft das letzte Getriebe 216mal um. Multiplicirt man die Zahl der Zähne oder die Halbmesser der drei Räder mit einander und eben so die Zähne oder Halbmesser der drei Getriebe und dividirt das erste Product mit dem letztern, so erhält man in jedem Falle $\frac{216}{1}$. Somit ist das vorliegende System als ein zusammengesetzter continuirlicher ungleicharmiger Hebel anzusehen, dessen einer Arm 1, der andere 216 Längeneinheiten hat. Um mittelst eines solchen Hebels Kraft zu concentriren, kann dieselbe natürlich nur am langen Hebelarme wirkend gedacht werden, denn umgekehrt würde Geschwindigkeit erzeugt,

Fig. 108.

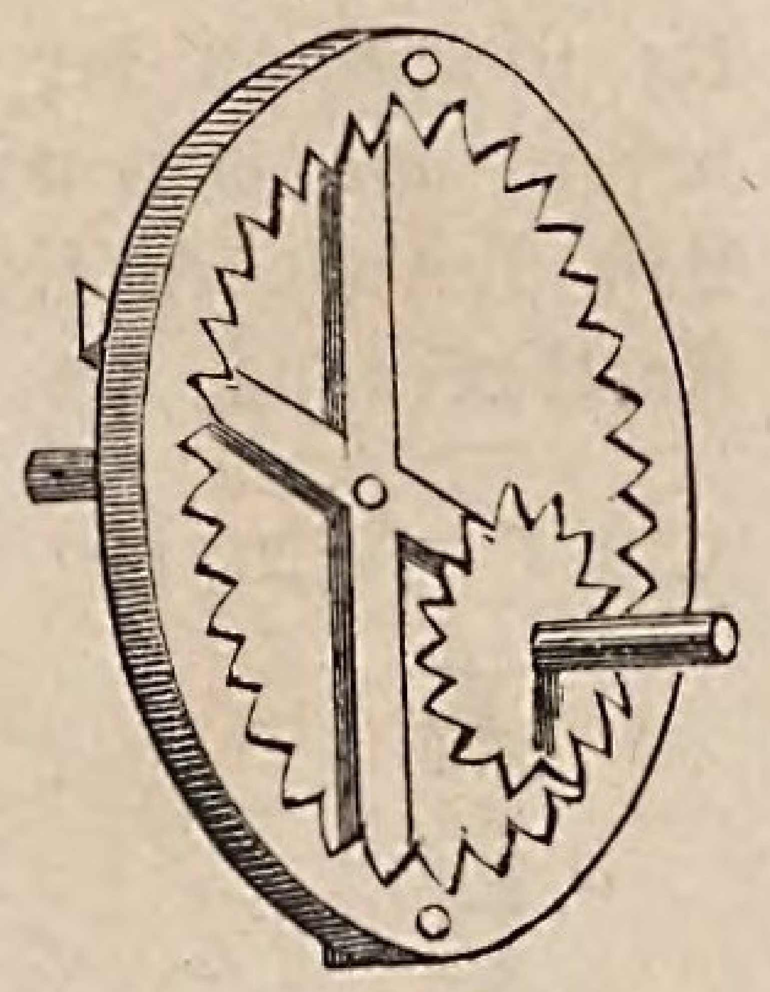
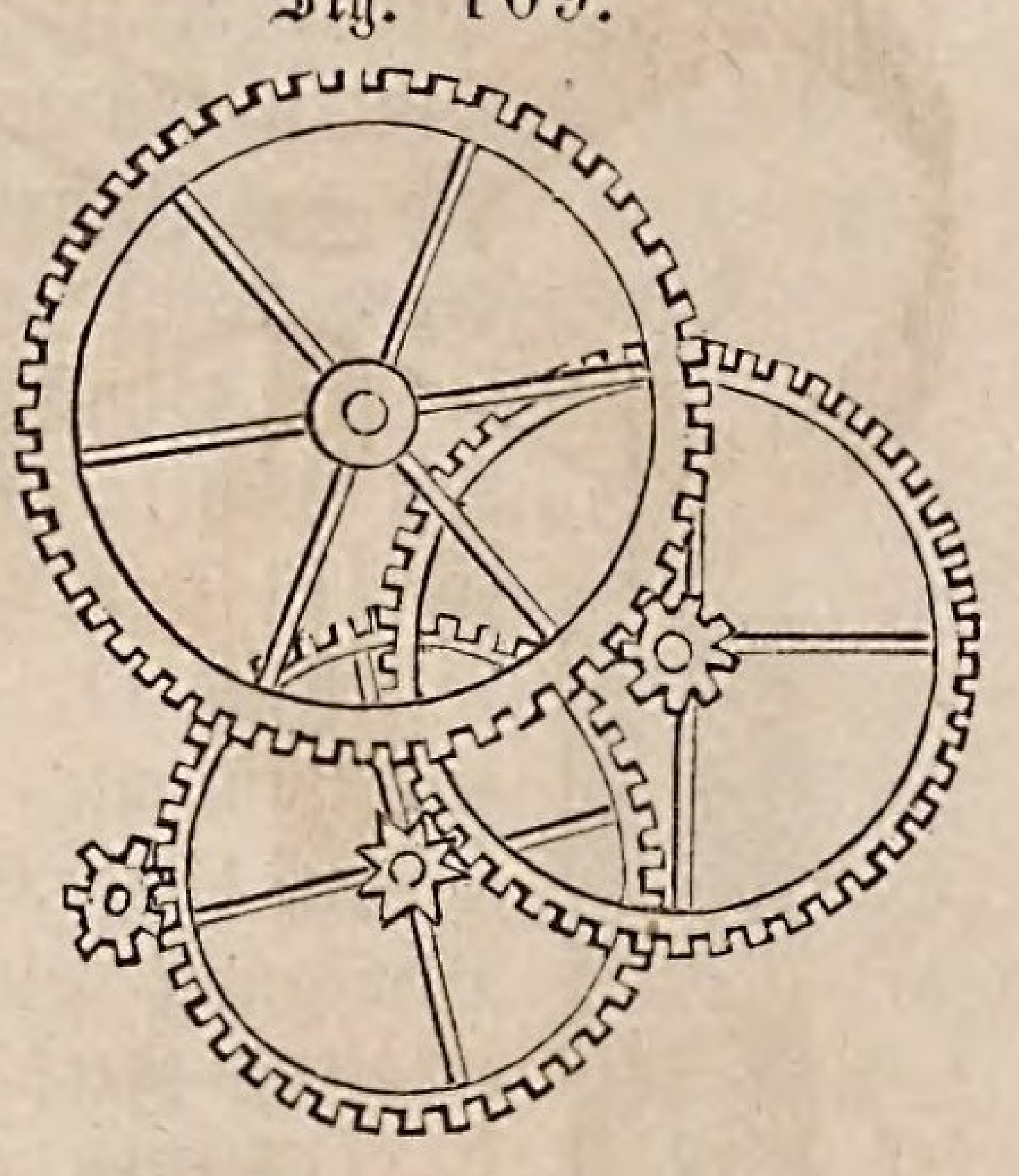
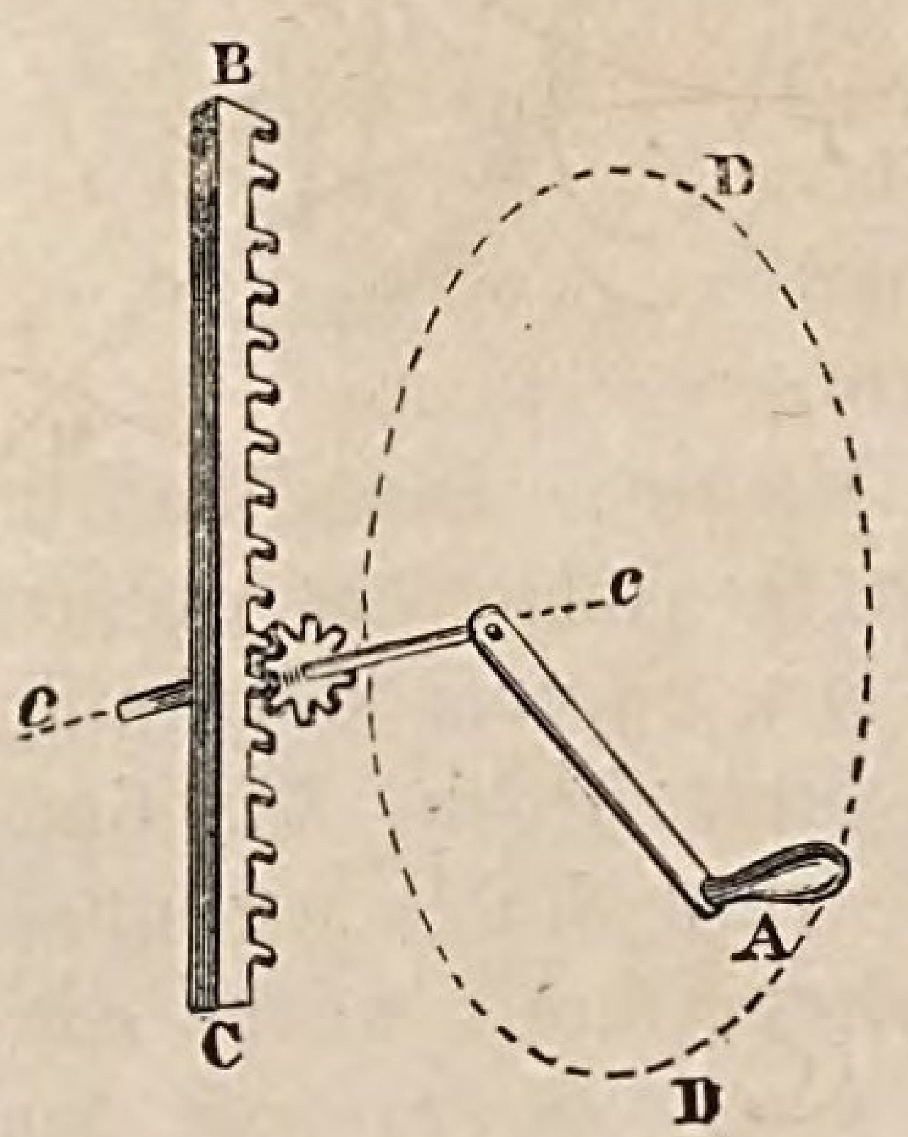


Fig. 109.



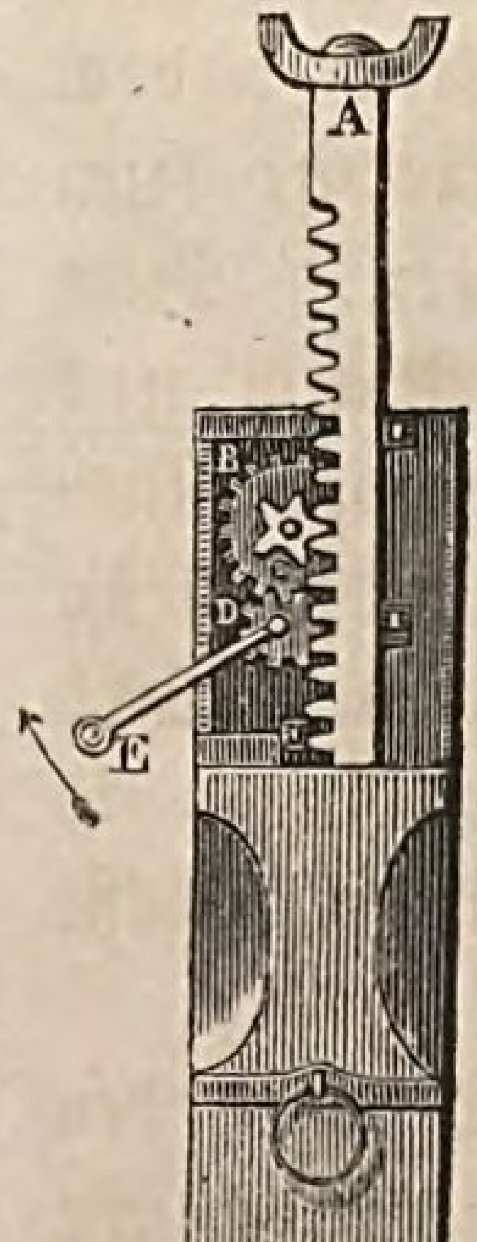
also die Kraft auf einem langen Wege vertheilt werden. Bei einem Räderwerk, das zu einer Kraftäußerung bestimmt ist, wirkt daher die Kraft in der entgegengesetzten Richtung von der eben betrachteten; nicht die Räder greifen die Getriebe an, sondern das Umgekehrte findet statt. Daher wird eine an der Peripherie des untern Rades in Fig. 109 angreifende Kraft an der Welle desselben Rades die 6fache, an der des 2. die 36fache, an der des obern die 216fache Wirkung haben, und man wird sonach mit 1 Gewichtseinheit Kraft 216 Gewichtseinheiten Last überwinden können, natürlich unter der wohlbekannten Bedingung, daß die Fortbewegung der Last 216mal langsamer vor sich geht als die der Kraft.

Fig. 110.



Läßt man ein Getriebe statt auf den Umfang eines Rades auf eine mit entsprechender Verzahnung versehene gerade Stange wirken, so wird diese dadurch der Länge nach fortgeschoben werden. Wird das Getriebe selbst durch einen längern Hebel, vielleicht durch eine Kurbel bewegt, so läßt sich eine bedeutende Kraft auf die Stange ausüben und ein solches System hält gewissermaßen die Mitte zwischen Räder- und Hebelwerken. In der beistehenden Figur liegt die Drehungsaxe in c c, die Kurbel A bildet den längern Hebelarm, der kurze liegt in dem Getriebe, in dessen Verzahnung er sich 8mal wiederholt; einer dieser Zähne ist während der Umdrehung immer thätig, einen Zahn der Stange zu heben, und während die Kraft den Kreis D D beschreibt, wird die Stange um 8 Zähne weiter geschoben. Es sei nun die Kurbellänge 18 Zoll, der Halbmesser des Getriebes 2 Zoll, so wird ein Mann, der 150 Pfund Kraft ausüben kann, hier das 9fache, 1350 Pfund aufwinden können. Durch angebrachte Uebersetzungen läßt sich natürlich das Instrument noch wirksamer machen. In der hier abgebildeten Winde wirkt die Kurbel auf das Getriebe D, das aber nicht in der Zahnstange steht, sondern mit dem Rade B verzahnt ist; auf der Welle des letztern erst sitzt das Getriebe für die Zahnstange. Es sei nun der Kurbelarm 5mal länger als der Halbmesser des Getriebes D; griffe dieses direct in die Stange, so würde sich Kraft und Last wie 1 zu 5 verhalten; da aber D, welches 6 Zähne hat, in ein 18zähniges, also 3mal größeres Rad greift, wodurch die Bewegung wieder um das Dreifache verlangsamt wird, so kann die Last durch eine 15mal kleinere Kraft bewältigt werden.

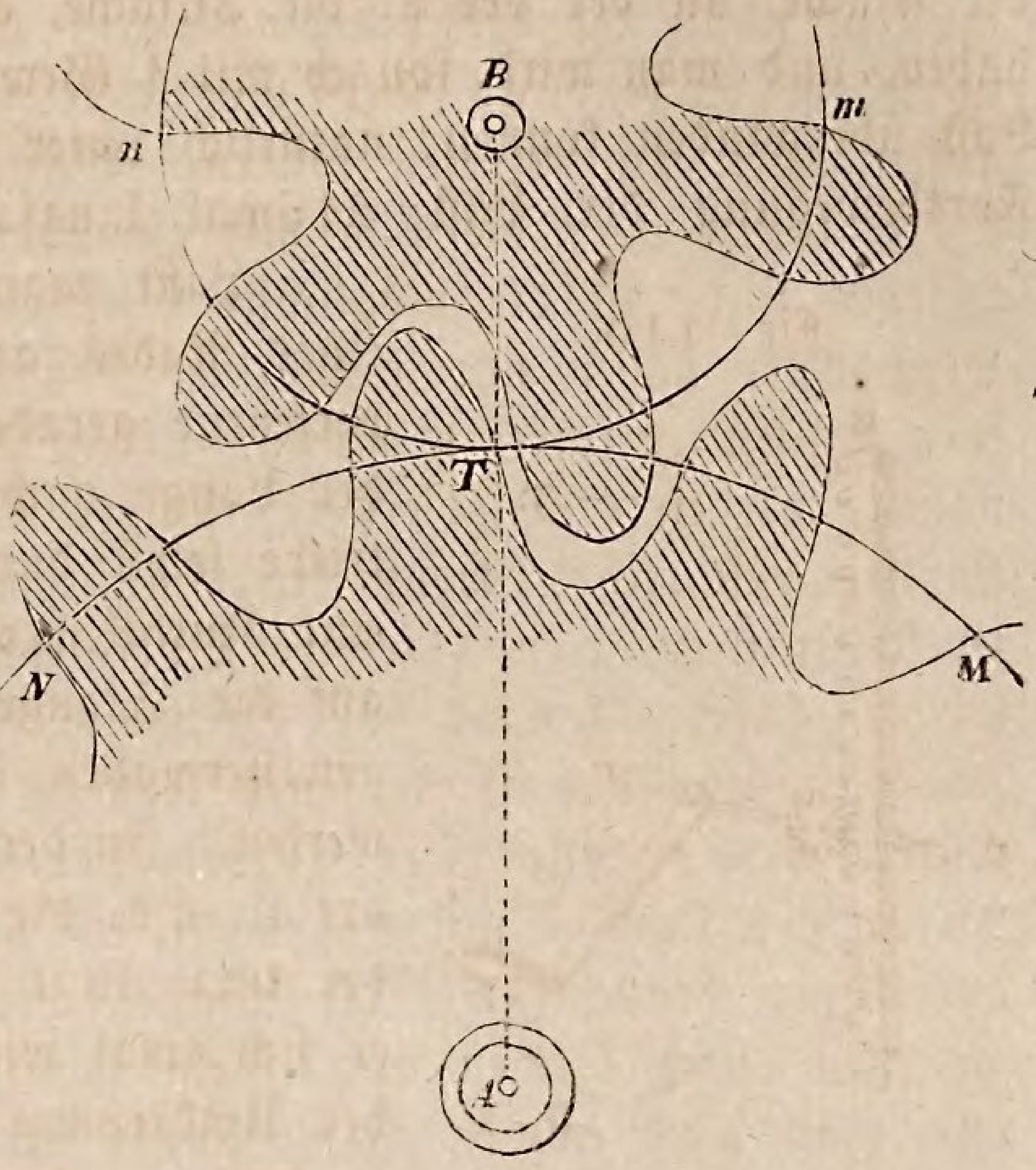
Fig. 111.



Stehen zwei Räder in Verbindung mit einander, so ist ihr beiderseitiges Umdrehungsverhältniß, beruhend auf ihren Halb- oder Durchmessern, zum Voraus festgesetzt. Bei Riemenscheiben und auf einanderlaufenden Walzen sind die Kreise und ihre Halbmesser leicht ersichtlich; aber auch den verzahnten Rädern liegen Kreise zu Grunde, die vom Mittelpunkte jedes Stückes aus gezogen sind und sich in einem Punkte ungefähr in der Mitte der Verzahnung berühren. Sie

heißen die Theilkreise und bilden die eigentlichen Peripherien der Räder, denn die Umläufe dieser geschehen ganz in der Weise als wären sie unverzahnte zusammenlaufende Scheiben, die gerade die Größe der Theilkreise hätten. Aus den Halbmessern A T und B T ergiebt sich demnach das Verhältniß der Umlaufsgeschwindigkeit beider Körper; es ist, wie wir wissen, das Umgekehrte dieser Längen. Die Entwerfung der Theilkreise ist die erste Arbeit bei Construction von Zahnrädern; sie werden sodann in so viel Theile getheilt, als Zähne vorkommen sollen. Das Größenverhältniß dieser Theile, deren jeder die Dicke eines Zahnes nebst dem zugehörigen Zwischenraume oder den Abstand vom Mittel eines Zahnes bis zum Mittel des andern begreift, nennt man die Schrift. Das über den Theilkreis hinausragende Stück des Zahnes bildet seinen Kopf, das innen liegende den Stamm oder Körper. Bei konischen Rädern liegen die Theilkreise am dicken Ende, an der Basis des zu Grunde liegenden Kegels.

Fig. 112.



Bei allen Räderwerken ist es eine Hauptsache, daß die Mittheilung der Bewegung ganz gleichmäßig erfolge, daß der Gang sanft, ohne Stöße und mit wenigst möglich Reibung von statten gehe. Eine Verzahnung mit vielen kleinen Zähnen wird diesen Bedingungen eher entsprechen als eine mit wenigen großen; die Stärke der Zähne wird aber wieder bestimmt durch die Größe der Kraft, die übertragen werden soll, also die Anstrengung, die sie auszuhalten haben. Kleinere Räder müssen bei gleicher Anstrengung deshalb stärker verzahnt sein, weil bei ihnen die Kraft an einem kürzern Hebel wirkt als bei größern. Man wird also mit Rücksicht hierauf die Räder so groß nehmen als der Raum und der Zweck der Maschine es gestatten. Je höher man die Zähne über den Radkranz hervorstehen läßt, desto mehr kommen ihrer gleichzeitig zum Eingriff, desto stärker müssen sie jedoch gemacht werden, um das Abbrechen zu verhüten. Wird der Radkranz und die quer auf ihm stehenden Zähne sehr breit genommen, so kann man letzteren natürlich auch mehr zumuthen, aber in demselben Maße wächst auch die Schwere der Räder.

Ist die Dicke der Zähne und dadurch ihre Anzahl für einen gegebenen Fall bestimmt, so bleibt noch die Frage, welche Form sie erhalten, d. h. welche Krümmungen den Seiten des Kopfes gegeben werden sollen. Die Zahnformen sind ein wichtiges Kapitel, das die Praktiker und Gelehrten vielfach beschäftigt hat. Daß die Zähne gerundet sein müssen, lag auf der Hand; wenn aber die alten Mühlenbauer ihre hölzernen Zähne nach dem Zirkel abrundeten, so liefen

sie so lange schlecht und schwerfällig, bis sie selbst eine andere Form angenommen hatten, daher man oft lieber gleich einen alten Zahn als Schablone anwandte. Bei den gußeisernen Rädern der Neuzeit mußte man jedoch genauer zu Werke gehen und es wurden daher vielfache Untersuchungen über die Natur der krummen Linien angestellt, welche die Seiten des Zahnkopfes begränzen müssen, wenn die Hauptbedingungen, gleichförmige Geschwindigkeit beider Räder in jedem Augenblicke und möglichste Verminderung des Schleifens der Zähne aufeinander, sich erfüllen sollten. Besonders in Fällen, wo die Zähne sehr enge stehen sollen oder die sich mit einander bewegenden Räder an Größe sehr verschieden sind, ist die möglichste Genauigkeit der Construction erforderlich. Die Mechaniker haben nun gefunden, daß die Figur der Zahnseiten gewissen krummen Linien entsprechen müsse, welche die Epicycloide und die Hypocycloide genannt werden. Die erstere ist der bogenförmige Weg, den ein Punkt eines Kreises beschreibt, wenn dieser auf einem andern Kreise fortgewälzt wird; die zweite entsteht, wenn dieselbe Operation im Innern eines Kreises vorgenommen wird. Hierzu kommt für bestimmte Fälle noch die Abwickelungslinie oder die Figur, welche das Ende eines Fadens macht, der von einem Kreise straff abgewickelt wird. Alle diese Curven haben zwar mathematisch genommen mit der Natur des Kreises nichts gemein, da man aber immer nur ein so kurzes Stück aus ihnen braucht, wie die Länge einer Zahnseite beträgt, so ist der Unterschied zwischen einem solchen und einem kleinen Kreisabschnitt praktisch ganz unmerklich und man wird immer einen Punkt für den Ansatz des Zirkels finden, von wo aus man der Curve mit der andern Zirkelspitze ziemlich genau folgen kann. Daher kommt es, daß man in der Praxis meistens doch nach Zirkelschlägen construirt, wobei es aber auf die Umstände ankommt, an welchen Punkt des Theilkreises im Innern des Zahnes man das Centrum des Kreisbogens zu setzen hat. Es giebt hierüber wie über den ganzen schwierigen Gegenstand viele praktische Regeln, Tabellen und andere Hülfsmittel, über die wir uns hier so wenig wie über das Mathematische zu verbreiten gedenken, da unser Werkchen sich nur auf das Allgemeinverständlichste zu beschränken hat.

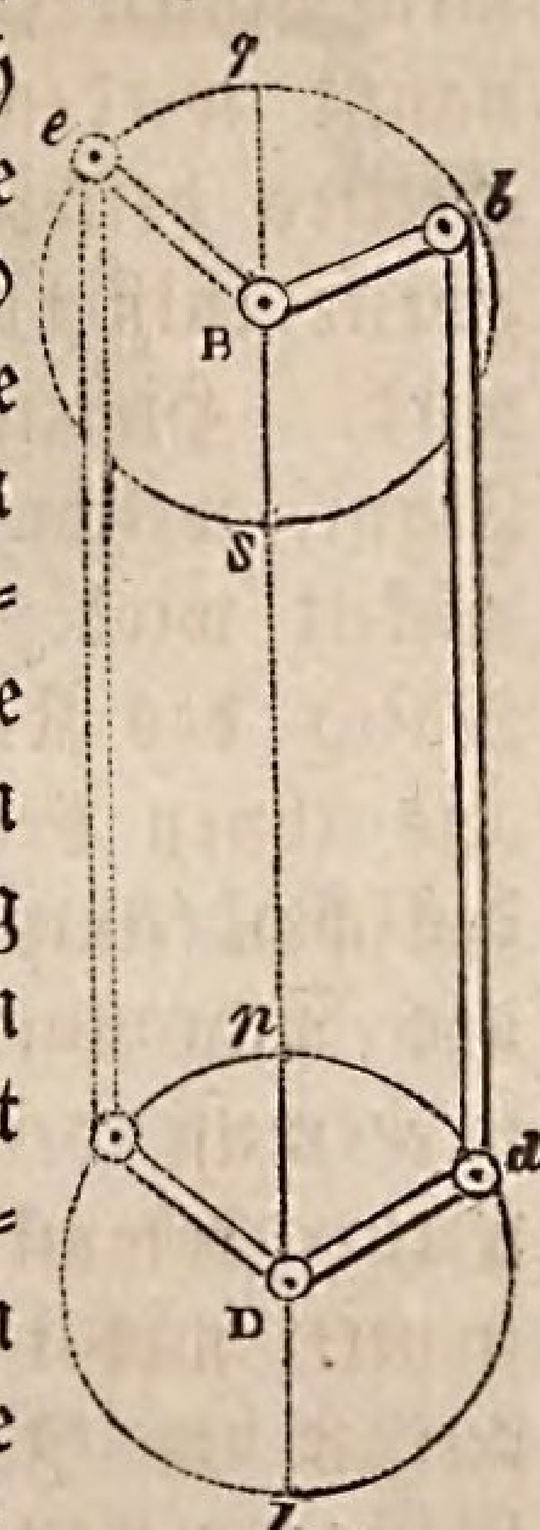
Da die mathematische Entwickelung der Zahncurven für ein Räderpaar von den Theilkreisen, also von dem Größenverhältniß beider Räder auszugehen hat, so folgt daraus, daß eine solche Verzahnung eben auch nur für das vorliegende Verhältniß ganz passen wird. Soll daher ein und dasselbe Rad mehrere andre von verschiedenem Durchmesser treiben, so muß die Entwerfung der Verzahnung nach etwas modificirten Regeln stattfinden. Ebenso giebt es specielle Regeln für die innere Verzahnung, für Getriebe mit Zahnstange, wie für Winkelräder, denn für jeden dieser Fälle sind die erforderlichen Zahnkrümmungen etwas anders bemessen.

Zur Verminderung der Reibung und Erzielung eines ruhigen Ganges wendet man übrigens noch jetzt, besonders bei rasch laufenden größern Rädern, Zähne von hartem Holz an, die in den Kranz des eisernen Rades eingekeilt werden. Man nimmt an daß sie eine etwa viermal geringere Festigkeit besitzen als wenn sie angegossen wären; dagegen ist aber ein etwaiger Bruch auch desto leichter wieder gut zu machen.

Die Zahnreibung ist bei gut construirtem Räderwerk gering und wird bei mittleren Rädern auf 1 Procent der Arbeit angenommen; bei innerer Verzahnung ist sie noch etwas kleiner als bei der äußern und am geringsten bei der Zahnstange.

Um zwei parallele Axen in Verbindung zu setzen, bietet sich ein weiteres Mittel in der Verkuppelung durch Zugstangen. Haben die Axen an einer Außenseite nicht schon Räder, an welchen die Stangen angebracht werden können, so muß jede Axe einen Arm zum Anhängen der Stange erhalten, und es entstehen so zwei durch eine Stange verbundene Kurbeln. Diese werden sich aber nur unter der Bedingung mit einander bewegen können, daß sie gleiche Kreise beschreiben, also daß ihre Arme gleich lang sind. Die Umdrehungsgeschwindigkeit beider Axen und die Winkelgeschwindigkeit aller etwa auf ihnen sitzenden Räder wird unter diesen Umständen ganz gleich ausfallen, wie wenn nur eine Axe vorhanden wäre. Die bei der Kurbelbewegung vorkommenden beiden sog. todten Punkte treten ein, wenn die Arme und die Zugstange zusammen in die Mittellinie (Fig. 113) eintreten, wo sie einmal von B bis l, das anderemal von D bis q reichen. In dieser Position kann die Spannung der Zugstange zur Umdrehung augenscheinlich nichts beitragen und es muß so viel Kraftüberschuß in der Maschine vorhanden sein, um darüber wegzuhelfen. Häufig hilft man sich damit, daß man noch zwei ganz gleiche Arme D f B e anbringt und mit einer Zugstange verbindet; letztere Arme bilden dann mit den ersteren rechte Winkel und haben somit gerade die günstigste Lage, wenn das andere Paar sich in einem todten Punkte befindet.

Fig. 113.



Dieselbe Einrichtung, nur in anderer Form, zeigt die folgende Fig. 114. Hier sind an den Axen selbst Ausbiegungen angebracht, die ebenfalls im rechten Winkel zu einander stehen und auf die Zugstangen als Kurbeln wirken. Noch mehr kann die Gleichförmigkeit des Ganzen durch Anbringung dreier Zugstangen gesichert werden (Fig. 115), was bei feinern Maschinen zuweilen angewandt wird, z. B. an Gravirmaschinen zur gleichförmigen Fortrückung der beiden Mikrometerschrauben. Hier sind die Zugstangen so vertheilt, daß immer nur eine auf einmal durch den todten Punkt geht. Sitzen auf den Axen Scheiben oder Räder, an welche die Zugstangen angehangen sind, wie z. B. an den verkuppelten Rädern der Locomotiven, so sind natürlich keine besondern Kurbelarme vorhanden; es müssen aber die Dimensionen derselben bei Bestimmung der Anhängepunkte zu Grunde gelegt

Fig. 114.

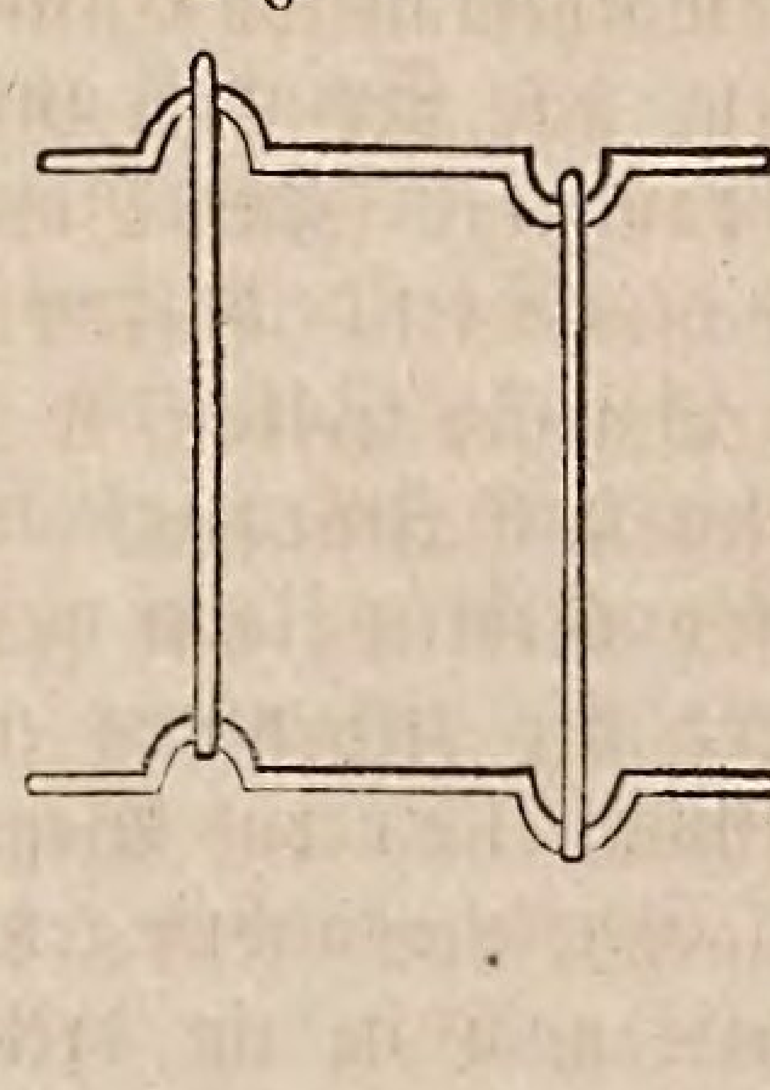
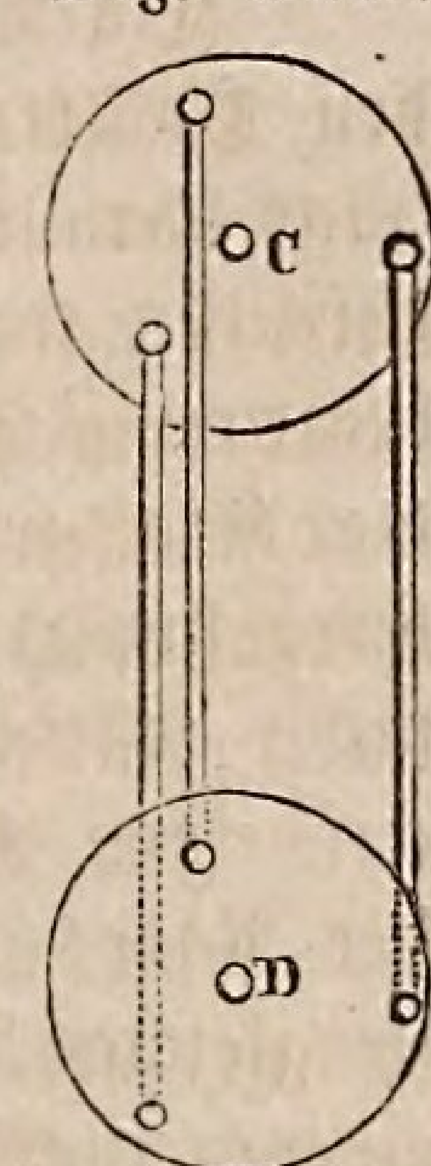
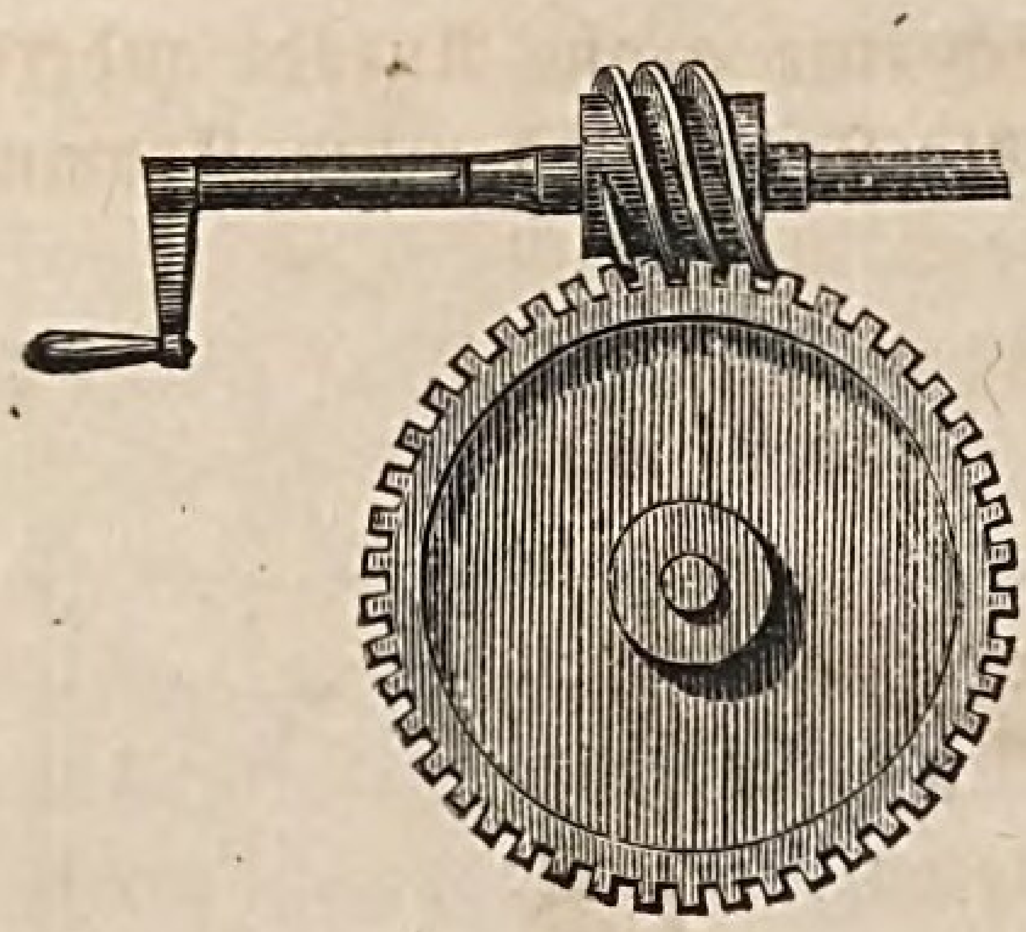


Fig. 115.



werden; letztere müssen daher alle gleichweit vom Centrum der Bewegung abstehen, unter sich lauter gleiche Winkel bilden und die Länge der Verbindungsstangen muß dem Abstande der beiden Centren C D gleich sein. Unter diesen Voraussetzungen hat dann natürlich die etwaige verschiedene Größe der Räder keinen Einfluß auf die Bewegung. Damit die Verbindungsstangen in Fig. 113 und 115 eben so wenig in Collision kommen wie in Fig. 114, muß, wie hier, jede sich in einer besondern Ebene bewegen, was durch die verschiedene Länge ihrer Bolzen erreicht wird.

Fig. 116.



Läßt man die Gänge einer Schraube in die Zähne eines Stirnrades eingreifen und dreht erstere um, so werden die Zähne allmälig weiter geschoben und es erfolgt so aus der Umdrehung der ersten Welle die viel langsamere einer zweiten, die rechtwinklig zur ersten gerichtet ist. Dieses System, das eine Verbindung zweier einfachen Maschinen, der Schraube und des Wellrades darstellt, wird die Schraube ohne Ende oder endlose Schraube genannt, da die Schraubenbewegung hier unbegrenzt fortgesetzt werden kann. Die Schraube wirkt hier wie ein Getriebe auf eine Zahnstange und die Verzahnung des Rades ist auch dem gemäß geformt, nur die Zähne auf dem Radumfange der Schraubengängen entsprechend schräg gestellt. Zähne und Gewinde sind so bemessen, daß bei jedem Umgange das Rad um einen Zahn weiter geschoben wird, und es wäre demnach wenig mehr als ein einzelnes Gewinde erforderlich, so viel nämlich, daß wenn das eine Ende desselben seinen Zahn verläßt, das andere bereits wieder eingegriffen hat; in der Regel nimmt man jedoch ein Paar Gänge mehr, um einen Eingriff auf mehrere Zähne zu haben und nicht die ganze Kraft blos an einem Zahne und einem Punkte des Gewindes wirken zu lassen. Auch macht man aus derselben Rücksicht die Schraube zuweilen doppelgängig, wobei aber das Rad doppelt so schnell herumkommt.

Kraft und Last an der endlosen Schraube sind in bekannter Weise nach den Halbmessern der Spindel und des Rades zu beurtheilen. Wird zur Drehung der Schraube ein Hebel angewandt, so gilt, wie wir wissen, die Länge desselben statt des Spindelhalbmessers. Es sei die Länge des Hebels oder Kurbelarms Fig. 116 20 Zoll, der Halbmesser der Spindel 1 Zoll, so ist hiernach der Kraftgewinn das Zwanzigfache; hat das Rad 30 Zähne, und jede Umdrehung bringt es um einen Zahn weiter, so ist der Gewinn wieder um das Dreißigfache gesteigert, also zusammen ein 600facher, d. h. die hineingelegte Kraft ist auf einen 600mal kleinern Weg concentrirt. Man könnte nun an der Axe des Rades ein Getriebe anbringen, das in ein zweites Rad, und dieses vielleicht in gleicher Weise noch in ein drittes eingriffe und erhielte so ein Räderwerk von einem ungeheuren theoretischen Effect; dieser würde sich aber in der Praxis wegen der zu großen Reibung bedeutend reduciren, und zwar wenigstens bis auf die Hälfte, vielleicht noch weit mehr. Man nimmt daher zu großen Kraftüber-

tragungen lieber andere Einrichtungen in Anspruch und verwendet die endlose Schraube mit Nutzen da, wo es sich um geringere Kräfte und um die Verwandlung einer Geschwindigkeit in eine bedeutend langsamere handelt.

Haben wir bis jetzt vorzugsweise die Uebertragung kreisförmiger Bewegungen in Betracht gezogen, so wollen wir jetzt zu den Einrichtungen übergehen, die man anwendet, um eine zu Gebote stehende rotirende Bewegung, wie es oft erforderlich ist, in eine geradlinige zu verwandeln, wie auch umgekehrt eine geradlinige Bewegung in eine kreisförmige umzusetzen. Einem Beispiel der ersten Art sind wir schon bei der Zahnstange begegnet; es giebt aber noch eine große Anzahl anderer Mittel für diese Zwecke, unter denen wir zuvörderst die Kurbel oder den Krumm-

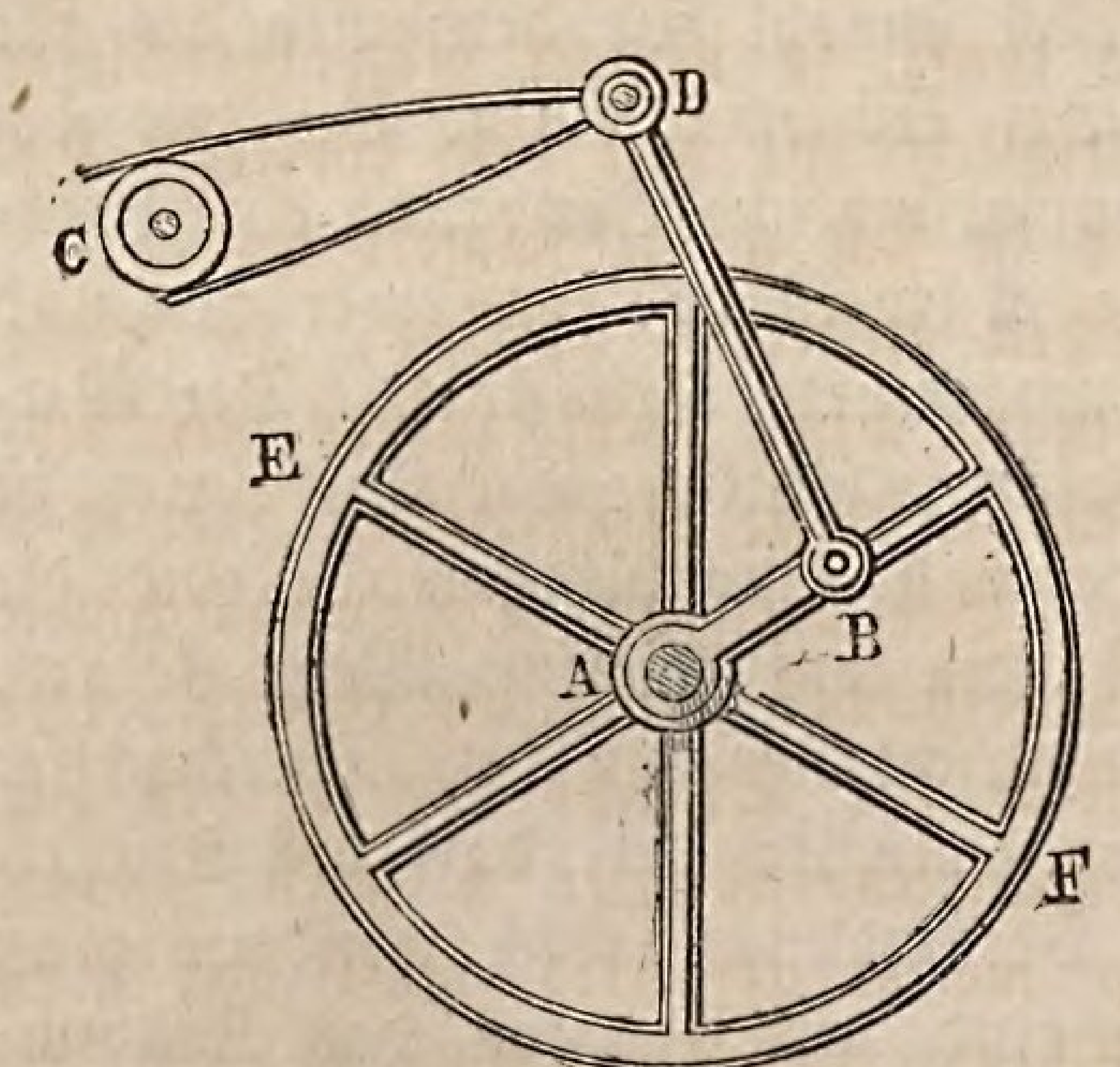
Fig. 117.



zapfen betrachten wollen, da dieses Maschinenstück sowohl für den einen als für den andern Zweck gebraucht werden kann. Bei Sägemühlen z. B., wie bei Wasserrädern, die ein Gestänge treiben, ist die ursprüngliche Bewegung eine kreisförmige und wird durch Uebertragung auf die Kurbelstange zu einer hin und her gehenden; bei Dampfmaschinen findet der umgekehrte Fall statt. Die Wirkung des Krummzapfens in beiden Fällen ist leicht ersichtlich: der Kurbelarm ist ein einfacher Hebel, der im Kreise herumgeht oder herumgeführt wird, und die mit ihm zusammenhängende Kurbelstange muß ihm auf diesem Wege folgen, während ihre wirkliche Verschiebung in der Längsrichtung nur dem Durchmesser dieses Kreises entspricht. Damit diese Bewegung möglich sei, darf die Kurbelstange auch an ihrem andern Ende keine feste Verbindung haben, sondern muß mit einem Gelenk u. dgl. versehen sein. Während des Ganges des Krummzapfens verändert sich fortwährend der Winkel, den der Arm und die Stange bilden, und es ist daher augenscheinlich, daß die Kraftübertragung keine gleichförmige sein kann. Bei den zwei Stellungen, wo beide Stücke in einer Linie liegen, ist gar keine Kraftübertragung denkbar; diese Punkte des Kreises werden die todten Punkte genannt. Wollte man eine Dampfmaschine anheizen, deren Krummzapfen gerade in einem der todten Punkte steht, so würde sie ohne Nachhülfe gar nicht in Gang kommen. Steht der Kurbelarm außerhalb der todten Punkte, so kommt es darauf an, in welchem der beiden Halbkreise er sich zu

Anfang der Bewegung befindet, weil davon die Richtung abhängt, in welcher sich das Schwungrad drehen wird. Es ist nicht schwer einzusehen, daß es in jedem der beiden Halbkreise, in welche der Kurbelkreis durch die Verbindungslinie der todten Punkte getheilt wird, nur Einen Punkt giebt, auf welchem die ganze Kraft übertragen wird, und zwar muß dieser Punkt der günstigsten Hebelstellung gerade auf der Mitte des Halbkreises, gleichweit von beiden todten Punkten entfernt, also im 90. Grade liegen. Von da ab nimmt die Kraftmittheilung, wie die Geschwindigkeit immer mehr ab, wird im todten Punkte Null, und wächst im folgenden Kreisviertel in demselben Maße wieder an. Geht daher die Kraft vom Krummzapfen aus und ist die Bewegung desselben stetig, z. B. wenn er an einem Wasserrade angebracht ist, so erhält die Stange und was mit ihr zusammenhängt, etwa ein Kolben, vom Anfange ihres Weges bis zur Mitte eine beschleunigte, von da bis ans Ende eine verzögerte Bewegung; geht dagegen die Kraft von einem stetig hin und hergehenden Kolben auf den Krummzapfen über, so muß dieser einen ungleichen Gang haben, indem seine Bewegung nach den Kraftpunkten zu beschleunigt, von da ab verzögert wird. Eine Kraft, welche eine Maschine mittelst des Krummzapfens im Gange erhalten soll, wird daher so stark sein müssen, daß sie an den Kraftpunkten mehr leistet als zur Ueberwindung des Widerstandes erforderlich ist. Um nun diesen Ueberschuß an Kraft auf den schwachen Stellen nützlich zu verwenden und so die Ungleichförmigkeiten der Bewegung möglichst auszugleichen (vollständig gelingt dies freilich nicht), bringt man als Regulator in den meisten Fällen ein **Schwungrad** an.

Fig. 118.



Wir wollen über diesen Begleiter des Krummzapfens hier gleich das Nöthigste beibringen.

Das Schwungrad ist ein schweres meist eisernes Rad mit starkem Ringe, das an der Maschine scheinbar müßig mitläuft. Sein Nutzen besteht aber eben in der Trägheit seiner Masse. Die Wirkung des Krummzapfens ist, wie wir sahen, schon von Natur eine ungleichmäßige; in sehr vielen Fällen sind nun auch die Widerstände, welche eine Kraftmaschine zu überwinden hat, bald größer, bald geringer, z. B. wo Stampfen oder Hämmer gehoben werden sollen, bei Walzwerken u. s. w. Ist nun eine Bewegkraft für den zu bewältigenden Widerstand momentan zu groß, so wird eine beschleunigte Bewegung eintreten, die Maschine wird rascher gehen; ist aber ein Schwungrad vorhanden, so wird der Kraftüberschuß zwar auch auf dieses wirken und ihm eine schnellere Bewegung ertheilen, indeß wird die Beschleunigung bei dieser schweren, schon im raschen Umlaufe begriffenen Masse kaum merklich sein und die Maschine wird also ziemlich denselben Gang behalten, den sie schon hatte. Die in das Schwungrad übergegangene Bewegkraft ist aber nicht verloren; sie wird hier gleichsam aufgespeichert für den künftigen Bedarf, und wenn die Widerstände in der

Maschine größer werden oder die bewegende Kraft momentan sich verringert, so giebt das Schwungrad von der ihm inwohnenden lebendigen Kraft einen Theil wieder zurück und hilft so über todte Punkte und andere Schwierigkeiten hinweg. Das Schwungrad ist also ein Regulator, der innerhalb gewisser Grenzen die Stetigkeit der Bewegung sichert, nicht aber, wie manchmal geglaubt wird, ein Ding, das selbst Kraft erzeugen kann. Es wird im Gegentheil Kraft verbraucht um die Zapfenreibung dieses schweren Körpers und den Widerstand der durch seine schnelle Bewegung verdrängten Luft zu überwinden. Doch ist dieser Aufwand für die Praxis nicht so erheblich und in der Regel wird eine Kraft, die eine Maschine ohne Schwungrad treiben kann, dies auch nach Anbringung eines solchen noch können.

Die Wirksamkeit des Schwungrades wird vorzugsweise durch die Masse seines Ringes bedingt. Die Wirkung wird um so stärker sein, je schwerer das Rad ist, also je mehr Masse es enthält, und andererseits je größer es ist. Formt man daher ein kleines schweres Rad in ein doppelt so großes um, so ist es, wie leicht begreiflich, auch ohne Massenvermehrung doch ein kräftigeres Schwungrad, da nun sein Ring im doppelten Abstande vom Centrum laufen muß. Man erhält also sowohl durch Schwerermachen als durch Größermachen kräftigere Schwungräder und wählt begreiflicherweise gern das Letztere, um an Masse zu sparen und keine zu große Reibung zu erzeugen. Man sieht daher zuweilen auffallend große Schwungräder, denn nach dieser Seite hin steckt nur die Rücksicht auf das Zusammenhalten eine Grenze.

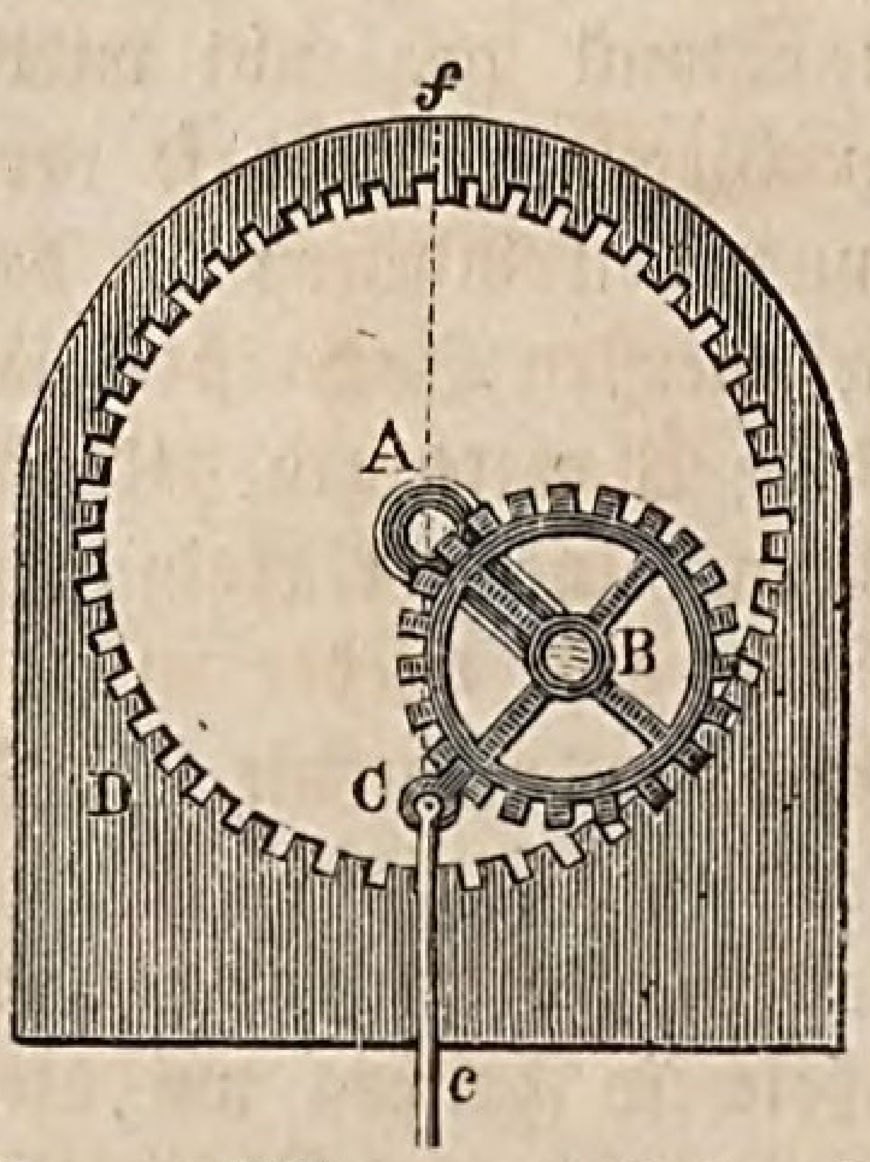
Die mechanische Kraft, welche in dem Ringe eines laufenden Schwungrades steckt, ist eben so groß als diejenige, welche er erhalten würde, wenn er durch freies Herabfallen dieselbe Geschwindigkeit erlangt hätte. Weiß man also wie viel Fuß oder Meter der Ring in der Secunde läuft, so nimmt man die dieser Geschwindigkeit entsprechende Fallhöhe und multiplicirt sie mit dem Gewicht des Ringes; das Facit zeigt an, wie viel Arbeit es in sich aufgesammelt hat.

Hat man an Maschinen eine Wahl zwischen mehreren Wellen, an denen das Schwungrad anzubringen wäre, so wählt man, wenn nicht andere Rücksichten dagegen sprechen, diejenige Welle, welche die rascheste Umdrehung hat, weil man hier das leichteste Schwungrad braucht. Bei der an Dampfmaschinen gewöhnlichen Einrichtung (Fig. 118) ist die Kurbelstange gleich an eine Speiche des Schwungrades angehangen; die untere Hälfte der Speiche von B bis zur Welle bildet dann den Kurbelarm. Von der Schwungradwelle A wird sodann die Kraft durch Getriebe, Räder oder Riemen weiter geführt; auch hat man Maschinen, bei welchen gleich der Kranz des Schwungrades gezahnt ist und die Kraft der Maschine auf ein Getriebe überträgt.

Die Bewegung der Kurbelstange kann man sich in zwei Bewegungen zerlegt denken, eine geradeausgehende, die man braucht, und eine pendelförmige, die man nicht braucht. Könnte die letztere irgendwie compensirt werden, so hätte man die erstere rein und unvermischt. Dies wird erreicht durch eine Einrichtung, die an Schnellpressen zur Hin- und Herführung des Karrens häufig Anwendung findet. Hier ist A (Fig. 119) die stehende Kurbelwelle, A B der

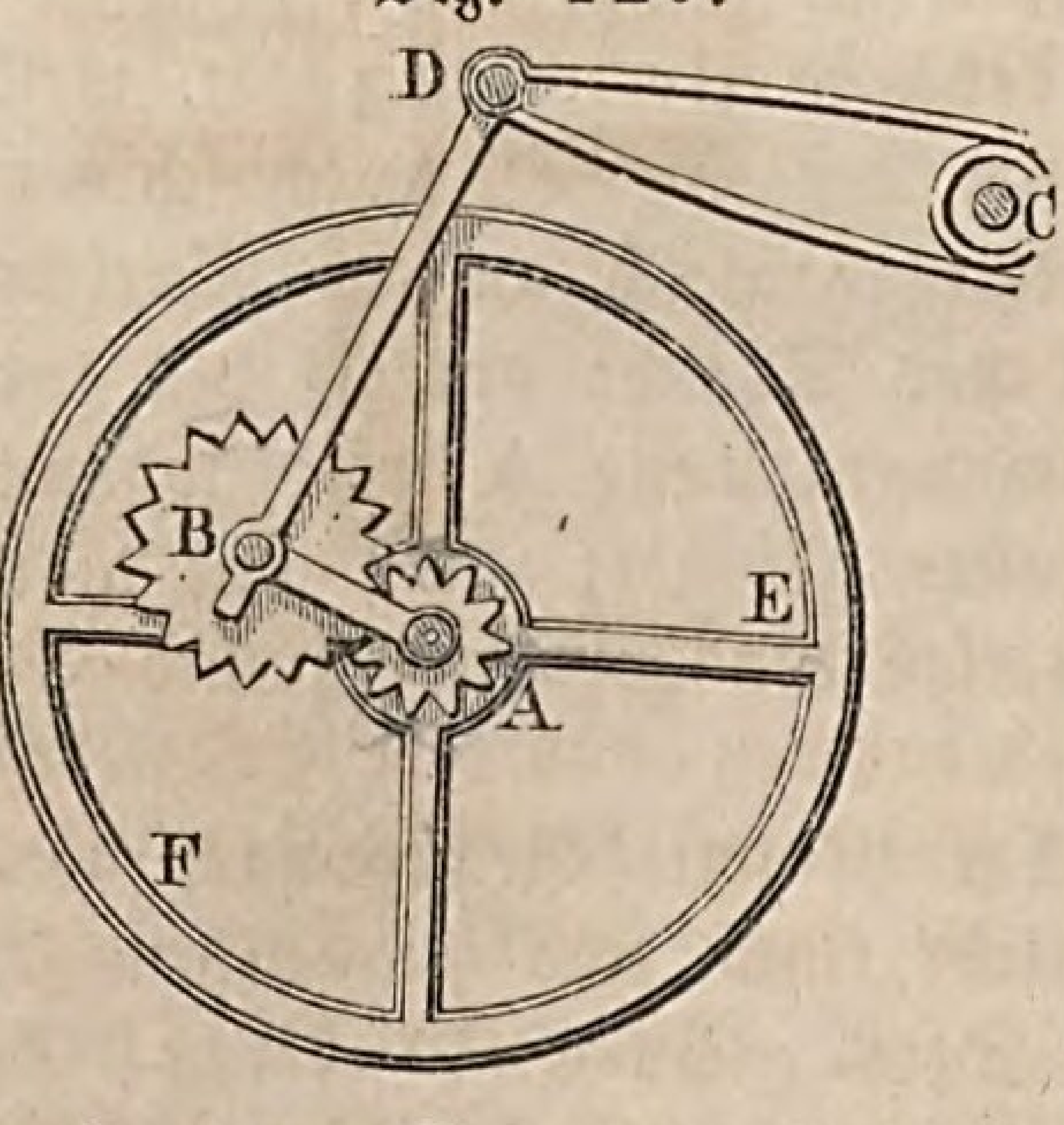
Kurbelarm; letzterer trägt an seinem Ende ein Zahnrad, das sich um einen stehenden Zapfen drehen kann; die Zähne dieses Rades greifen in die innere Verzahnung eines doppelt so großen festliegenden Rades. Dreht sich nun die Kurbel, so führt sie das kleinere Rad im Innern des Kreises herum und dieses muß sich hierbei zugleich um seine eigene Axe drehen, da es sich mit seinen Zähnen beständig an den Zähnen des festliegenden Rades stößt. Wir haben demnach hier eine verkörperte Hypocycloide: ein Kreis wälzt sich im Innern eines andern, der gerade doppelt so groß ist. Bei diesem Größenverhältniß berührt also immer ein Punkt des kleinern Kreises den Mittelpunkt des großen; sehen wir aber zu, welchen Weg überhaupt irgend ein Punkt des kleinern Kreises während der Wälzung macht, so werden wir finden, daß der Weg völlig gradlinig ist und einen Durchmesser des größern Kreises bildet. Wird daher eine Zugstange an irgend einem Punkte im Umfange des kleinen Rades angehangen, so kann dieselbe keine andere Bewegung erhalten als eine gerade durch den Mittelpunkt des Kreises gehende; eine ganze Umdrehung des kleinen Rades, während welcher es die Hälfte seines Weges macht, zieht sie über den Kreis hinweg, die folgende Umdrehung bringt sie wieder in die frühere Stellung zurück. Der Effect dieser Einrichtung ist demnach derselbe, als hätte man eine gewöhnliche Kurbel mit doppelt so langem Arm angewandt; auch die Beschleunigung und Verzögerung des Ganges findet ganz wie bei dem gewöhnlichen Krummzapfen statt.

Fig. 119.



Eine Zeit lang wurde statt der einfachen Kurbel der Umtrieb des Schwungrades an der Dampfmaschine durch das von Watt erfundene sog. Sonn- und Planetenrad bewirkt, während man jetzt wieder zur Kurbel zurückgekehrt ist. Das auf der Schwungradwelle A festsitzende Rad oder Getriebe heißt das Sonnenrad, das am Ende der Kurbelstange befindliche Rad B das Planetenrad, weil es sich bei jedem Auf- und Niedergange des Balanciers einmal um das Rad A herumbewegen muß. Zur Erhaltung des Eingriffs der beiden Räder ist eine Führungsspeiche zwischen ihnen vorhanden. Zum Verständniß des Ganges muß festgehalten werden, daß Rad B ebenfalls fest ist, d. h. sich nicht um seine Axe drehen kann. Wird nun durch die Dampfkraft Rad B einmal um Rad A herumgeführt, so muß dieses und das mit ihm fest verbundene Schwungrad der Bewegung folgen und zwar wird, wenn A und B gleich groß sind, A sich zweimal drehen, während die gewöhnliche Kurbel es nur einmal herumbringt. Ist A kleiner als B, so wird die Zahl seiner Umgänge

Fig. 120.

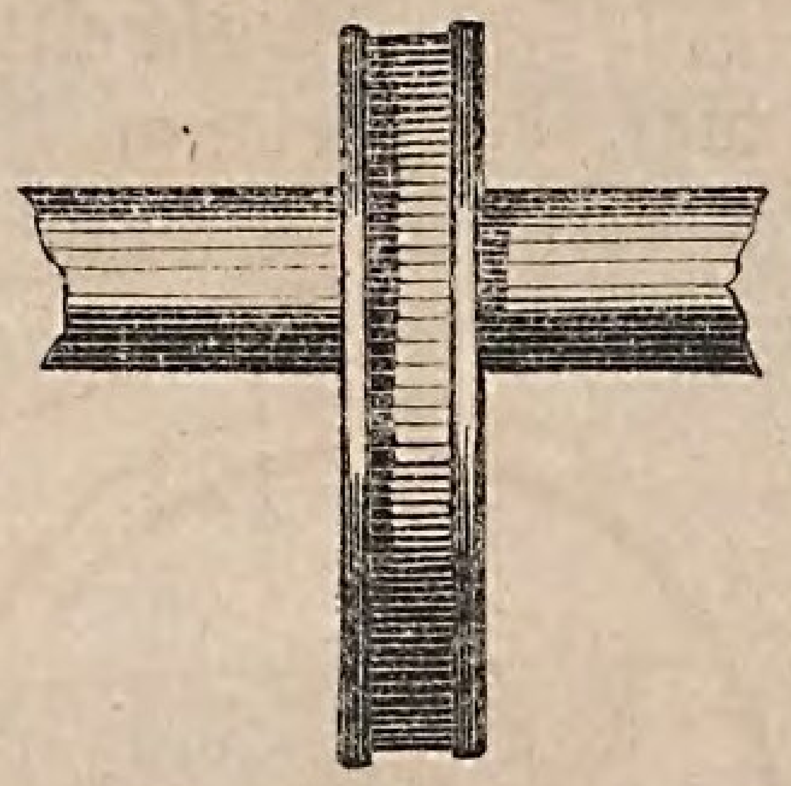


in demselben Maße vermehrt. Dem Vortheil, den diese Einrichtung durch die größere Geschwindigkeit giebt, steht aber der Nachtheil entgegen, daß sie der Abnutzung und dem Zerbrechen sehr ausgesetzt ist. Wie bei gleicher Größe von A und B das erstere zwei Umdrehungen erhält, wird einleuchten bei der Erwägung, daß wenn das Planetenrad B seinen höchsten Stand hat, sein unterster Zahn in den höchsten Zahn des Sonnenrades A eingreift. Geht B von da abwärts, so treibt es die Zähne von A vor sich her, und kommt es in den niedrigsten Stand, so greift sein höchster Zahn in den untersten Zahn von A; aber dann hat sich die Hälfte des Sonnenrades um das Planetenrad gedreht, und daher muß der Zahn, der in seiner höchsten Stellung in das Rad griff, um den halben Umfang des Rades von ihm entfernt, und also wieder in dem höchsten Stande sein, so daß während B von dem obersten zum untersten Stande gelangt, A eine ganze Umdrehung gemacht hat.

Die Kurbelstange wirkt, wie leicht ersichtlich, am besten wenn sie mit der zu treibenden Welle einen rechten Winkel bildet. In solchen Fällen, wo diese Disposition durch die Umstände unmöglich gemacht wird, muß man sich freilich dazu entschließen, dieselbe in etwas schräger Richtung angreifen zu lassen, was indeß nicht ohne den Verlust eines Theils der Kraft geschehen kann. Der gewöhnliche Kurbelzapfen ist dabei unanwendbar und man muß zur Verbindung der Stange mit der Kurbel oder dem Rade einen Kugelzapfen anwenden, der eine Beweglichkeit in verschiedener Richtung zuläßt. Er besteht aus einer glatten Kugel, die am Ende der Stange sitzt und sich in einer an der Kurbel befestigten, vorn entsprechend ausgeschnittenen Hohlkugel dreht.

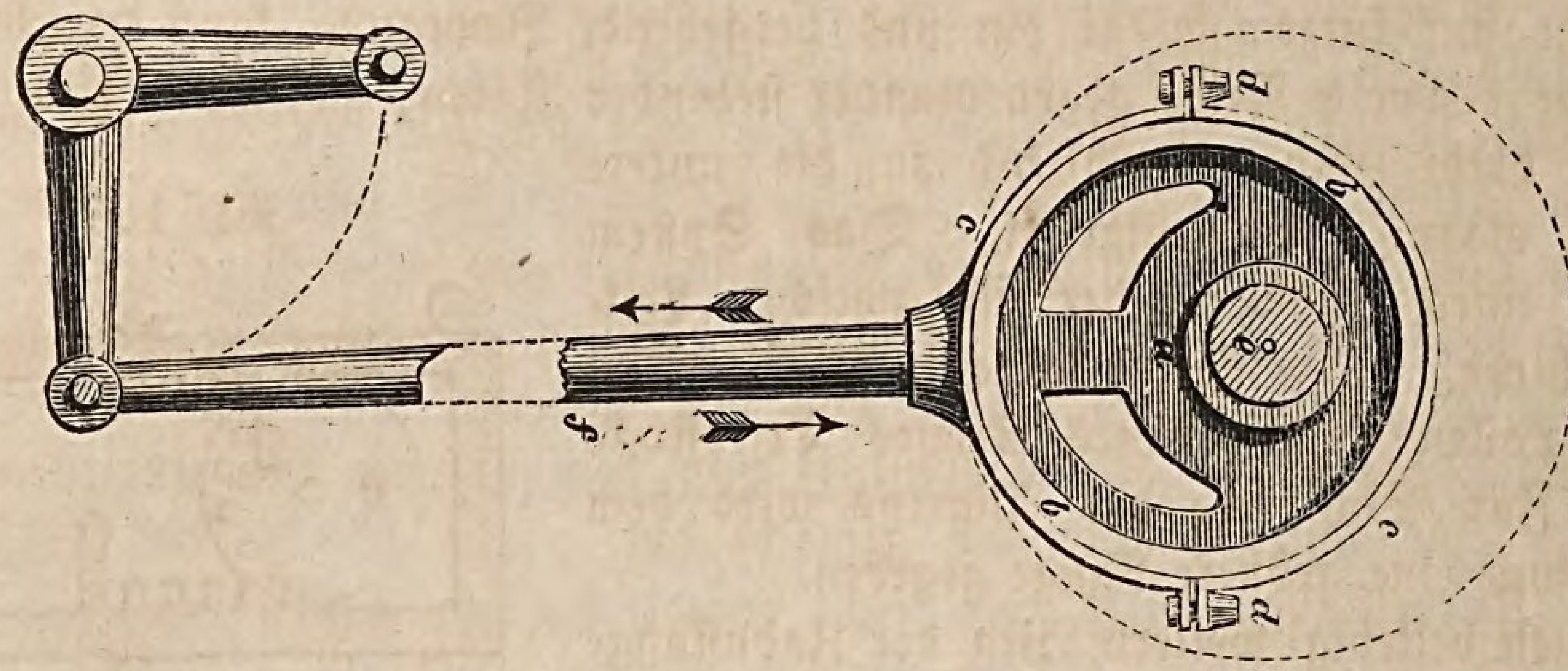
Dem Krummzapfen ganz ähnlich wirkt das sogenannte Excentric oder die excentrische Scheibe in ihrem Ringe, wie sie zur Steuerung an der Dampfmaschine angewandt wird. Die excentrische Scheibe ist ihrem ursprünglichen Begriffe nach eine kreisrunde auf einer Welle festsitzende Scheibe, deren Drehpunkt nicht mit ihrem Mittelpunkte zusammenfällt, d. h. die Welle geht an irgend einer Stelle neben dem Mittelpunkte hindurch. Nimmt man von dem Drehpunkte nach der Seite hin, wo der Umfang der Scheibe der Welle am nächsten liegt, den Halbmesser, so kann man mit diesem auf der Scheibe eine kleinere Scheibe beschreiben, welche gar keine Wirkung nach außen haben wird; sie wird erst dadurch wirksam, daß das übrigbleibende halbmondförmige Stück an ihr sitzt. Indem dieses außerhalb des kleinern Kreises herumgeführt wird, wirkt es wie ein Hebedaumen von der Höhe des größten Querschnittes des Halbmondes, aber die Wirkung des Schubes oder Druckes erfolgt hier, da die Kraft die Last mittelst einer schiefen Ebene von mäßiger Höhe angreift, allmälig, sanft und ohne Stoß. Je weiter der Drehpunkt der Scheibe vom Mittelpunkte abliegt, desto länger wird der Hebel, mit dem sie nach außen wirkt. Man hat daher für gewisse Fälle Scheiben mit verstellbarem Drehpunkte. An der Dampfmaschine dreht sich nun die Scheibe

Fig. 121.



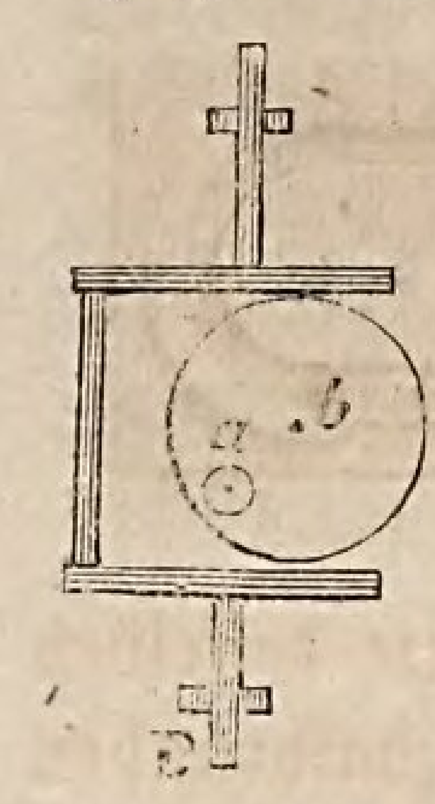
in einem aus zwei Hälften bestehenden Ringe, der sie in geringem Abstande umgiebt und nach hinten mit dem Gestänge der Steuerung in fester Verbindung steht. Man sieht nun leicht, daß die sich um den Punkt i drehende Scheibe,

Fig. 122.



deren wirklicher Mittelpunkt bei a liegt, den Ring wie eine Kurbel längs des punktirten Kreises führen und dadurch dem Gestänge eine hin und hergehende Bewegung ertheilen wird. Da zwischen Ring und Scheibe beständig viel Reibung ist, so eignet sich die Vorrichtung nur zur Uebertragung eines geringen Druckes

Fig. 123.



Setzt man der excentrischen Scheibe nur auf zwei Seiten Angriffspunkte entgegen, wie in Fig. 123, so hat man denselben Vor- und Rückschub ohne die Seitenbewegungen, weshalb eine so bewegte Stange auch nirgends eingelenkt zu sein braucht.

Außer der Kurbel dient, wie wir schon sahen, besonders die Zahnstange zur Ableitung einer Längsbewegung aus einer rotirenden. Sie kann dabei unter allerlei Formen auftreten. Will man ihr durch eine Schraube eine langsame Bewegung ertheilen, so kann sie wie in Fig. 121 geformt sein, so daß sie gleichsam einen Ausschnitt aus einer vollständigen Schraubenmutter bildet, oder es genügt, bei geringen Kraftübertragungen, ein einzelner Zahn oder Stift, der in dem vertieften Schraubengange steht und die Fortziehung der Stange beim Umgange der Schraube eben so gut vermittelt als eine Reihe von Zähnen. Gilt es

Fig. 124.



Fig. 125.

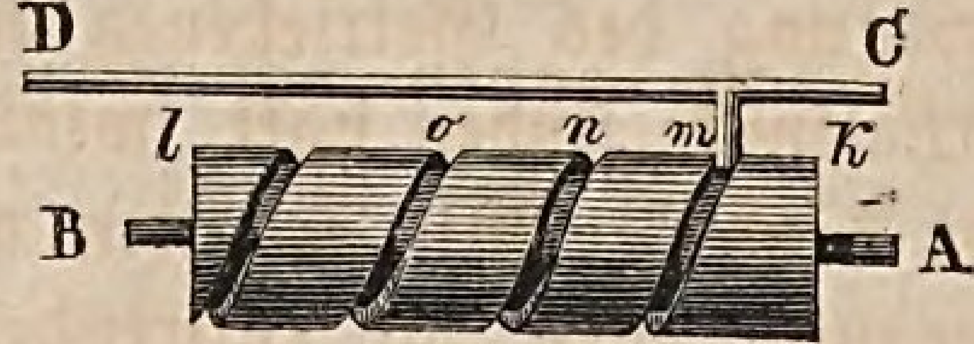
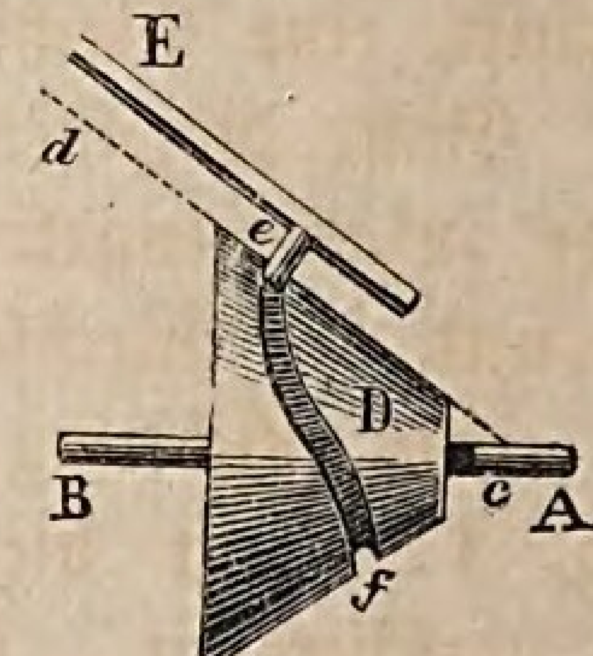


Fig. 126.

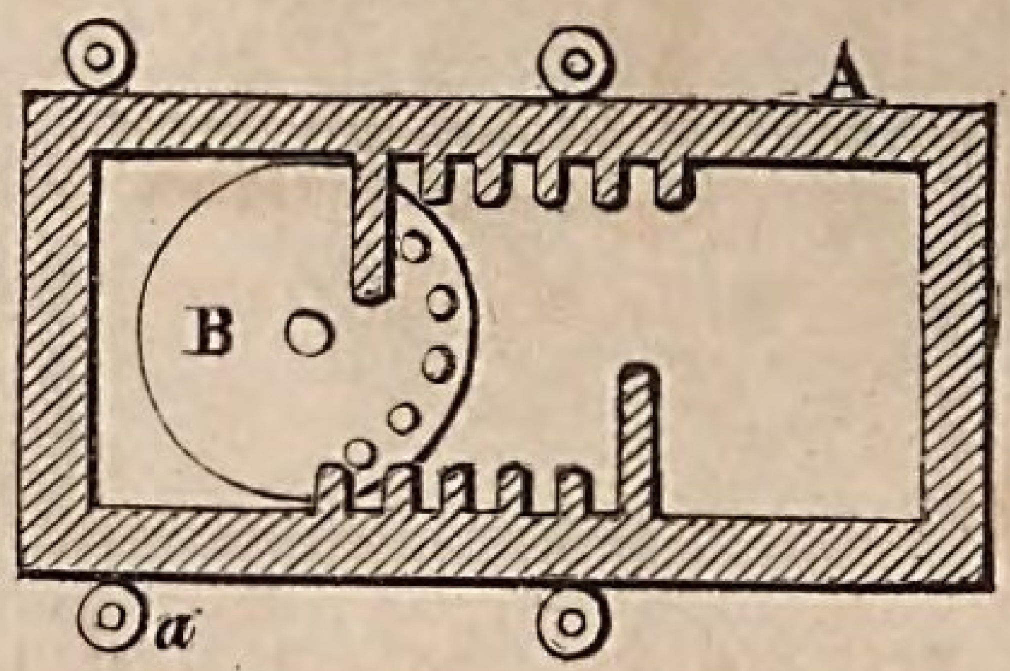


eine Stange zu führen, die mit der Drehungsaxe nicht parallel liegt, so kann dies dadurch geschehen, daß man den gewundenen Gang für den Führungstift statt auf einen Cylinder auf einen kegelförmigen Körper (D Fig. 126) einschneidet,

der auf der Axe B A festsitzt, wobei jedoch vorausgesetzt ist, daß die Richtungslinie der Stange (d c) die Drehungsaxe schneidet, also beide Stücke in einer Ebene liegen.

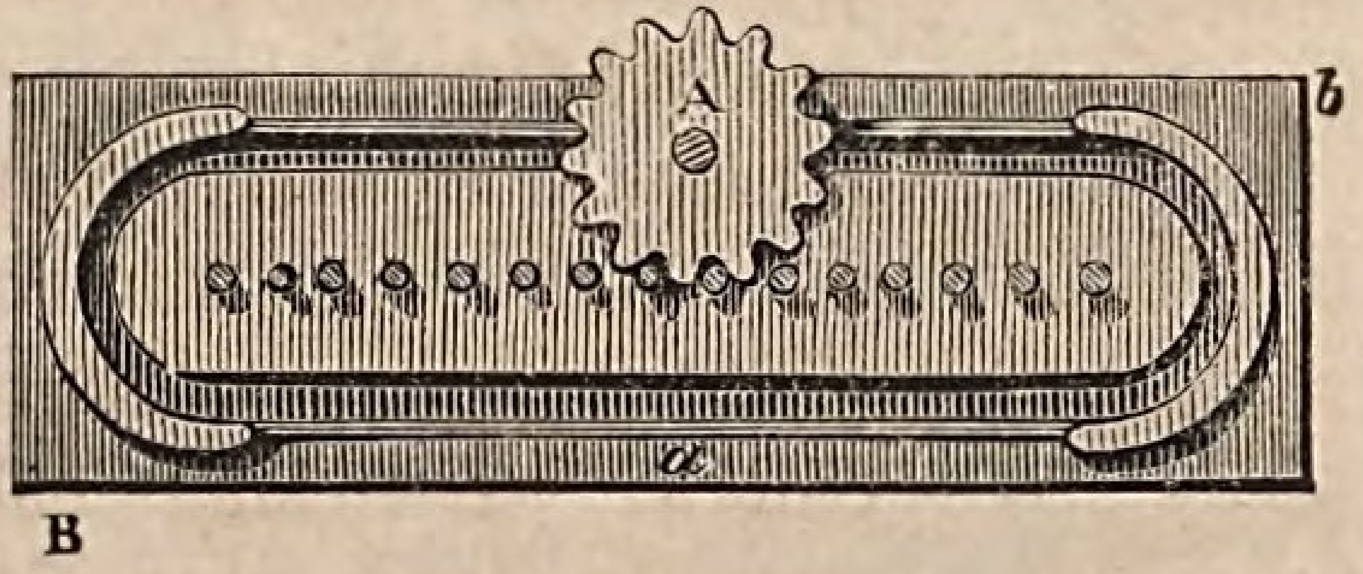
Eine auf kurzem Wege hin und hergehende Bewegung kann erreicht werden durch eine doppelte Reihe gegeneinander stehender Zähne, zwischen denen sich das Getriebe dreht und abwechselnd in die untere und die obere Reihe eingreift. Das System bildet so einen Rahmen, der sich zwischen Leitrollen schiebt. Das Getriebe kann hierbei nicht auf der vollen Hälfte seines Kreises Triebstöcke haben. Zur Sicherung des Angriffs wird dem ersten Zahne eine größere Länge gegeben.

Fig. 127.



Einen beliebig weitern Weg der Zahnstange gewinnt man durch eine andere Einrichtung, die an Wäschrollen, auch an Buchdruckmaschinen benutzt zu werden pflegt um den Kasten oder den Karren hin und herzuführen. Das an dem festen Gestell der Maschine angebrachte und mittelst Laufriemen gedrehte Getriebe A (Fig. 128) wirkt hier auf einen sogenannten Rechen, der an dem hin und her zu führenden Systeme festsitzt. Behielten Getriebe und Rechen stets dieselbe Stellung zu einander, so wäre eine Wechselbewegung nicht möglich; es ist aber das Lager für das Getriebe so eingerichtet, daß letzterer sich senkrecht um die Distanz zwischen A und a verschieben und daher an jedem Ende des Rechens auf die andere Seite desselben gelangen kann. Der Zapfen des Getriebes gleitet dabei in den halbrunden Führungen an den Enden des Rechens, und das Getriebe steigt demnach an einem Ende herunter, am andern wieder hinauf, denn da es immer mit dem letzten Zahn in Eingriff bleibt, so folgt daraus, daß es sich auch wieder heben muß. Es ist nun leicht ersichtlich, daß aus dem abwechselnden Angriff des Getriebes bald oben bald unten, während es selbst immer in einerlei Richtung rasch umläuft, eine Wechselbewegung des Getriebenen entstehen muß.

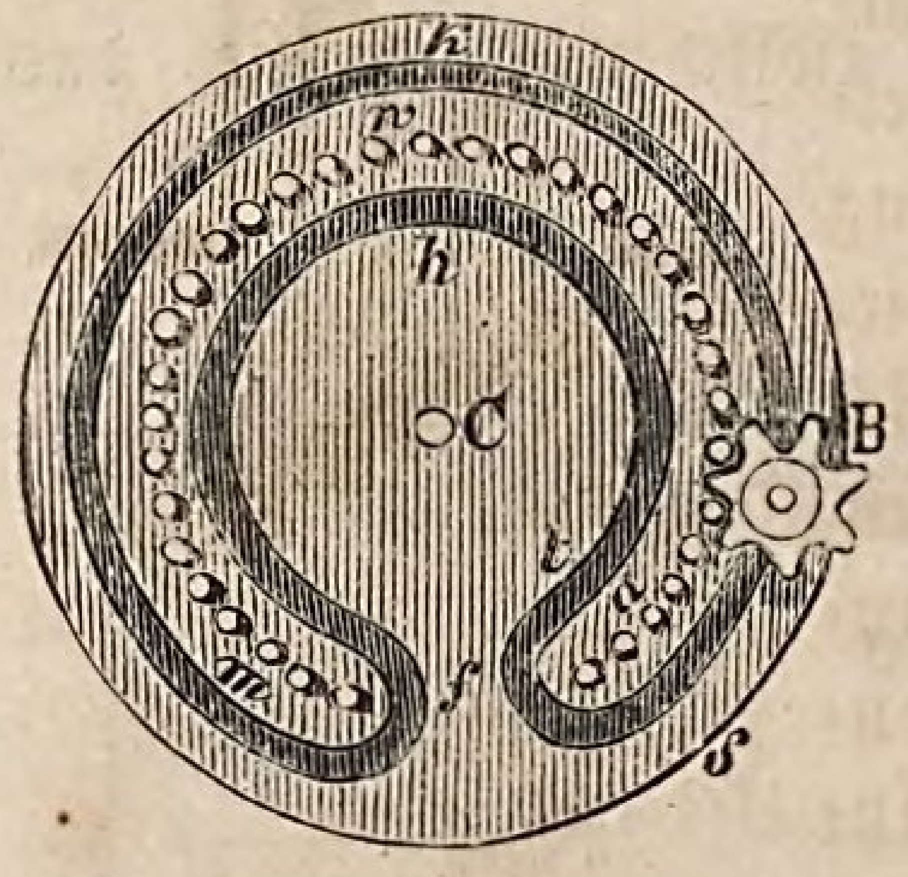
Fig. 128.



Ganz dieselben Verhältnisse finden statt, wenn wir uns den Rechen zu einem Rade zusammengekrümmt denken. Wir erhalten auf diese Art ein sog. Wechselrad und die Wechselbewegung wird zur rotirenden, das Rad dreht sich erst in der einen Richtung fast ganz herum, dann in der andern. Das Getriebe B (Fig. 129) ist hier ebenfalls um eine kurze Distanz nach dem Mittelpunkt C hin verschiebbar. Eine Verlängerung seiner Axe greift in die vertiefte Spur oder Rinne h h, welche als Leitung für das Getriebe dient. Befindet sich letzteres an der Außenseite des Kreises, so bewegen sich Rad und Getriebe in entgegengesetzter Richtung; gelangt es aber durch die bei f gelassene Lücke ins Innere, so muß das Rad die Richtung des Getriebes annehmen. Das Wechselrad ist sonach als eine Combination des Stirnrades mit dem innen verzahnten

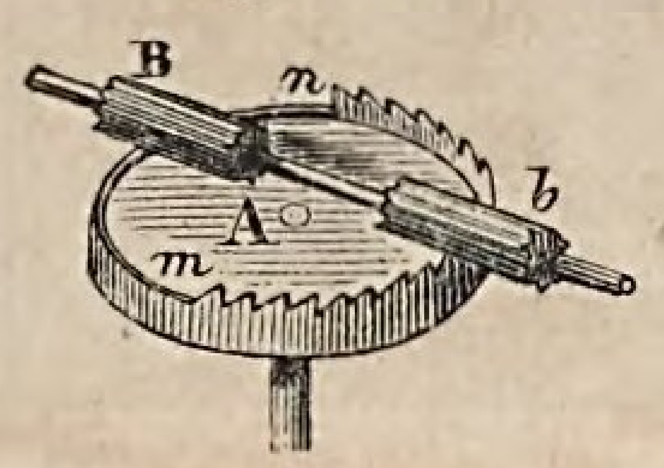
Rade anzusehen. Versieht man eine treibende Axe mit einem Stirnrade, das nur auf der einen Kreishälfte Zähne hat, so kann sie einer andern Axe eine abwechselnde Rotation ertheilen, wenn diese mit zwei Getrieben versehen ist, mit denen die Zahnreihe des Rades abwechselnd in Eingriff kommt (Fig. 130). Die Zähne können begreiflicherweise höchstens den halben Umfang des Rades einnehmen. Hat dann der letzte Zahn n das Getriebe b verlassen, so kommt m sogleich mit B in Eingriff und die Drehung der Axe geht in die entgegengesetzte über. Natürlich würde dieser Wechsel bei schwer arbeitenden Maschinen nicht ohne bedenkliche Stöße abgehen, daher diese Vorrichtung nur für ganz leichte Triebwerke sich eignen würde; sie versinnlicht aber wenigstens ein Prinzip, das unter mancherlei Abänderungen doch hier und da Anwendung findet.

Fig. 129.



Eine recht einfache, an Vorspinnmaschinen praktisch angewandte Hin- und Herführung ist auch ohne Abbildung verständlich. Befestigt man ans Ende einer Axe eine runde Scheibe im Mittelpunkte so, daß sie nicht rechtwinklig zur Axe, sondern etwas schräg steht, so kann sich die Scheibe nicht in ihrer eigenen Ebene drehen, sondern macht einen so zu sagen verwundenen Gang, bei welchem derjenige Punkt ihres Umfanges, der anfänglich der Axe am nächsten lag, sich nach Verlauf einer halben Umdrehung am weitesten von ihr entfernt hat und in der folgenden Hälfte wieder in seinen ersten Abstand zurückkehrt. Die Scheibe wird also, wenn man sie in den Falz einer Stange eingreifen läßt, die in derselben Richtung wie die bewegende Axe liegt, einen abwechselnden Druck auf die Stange ausüben und diese bei jedem Umgange auf einer kurzen Strecke hin und herführen. Begreiflich darf der hin und hergezogene Körper nicht beträchtlich schwer sein.

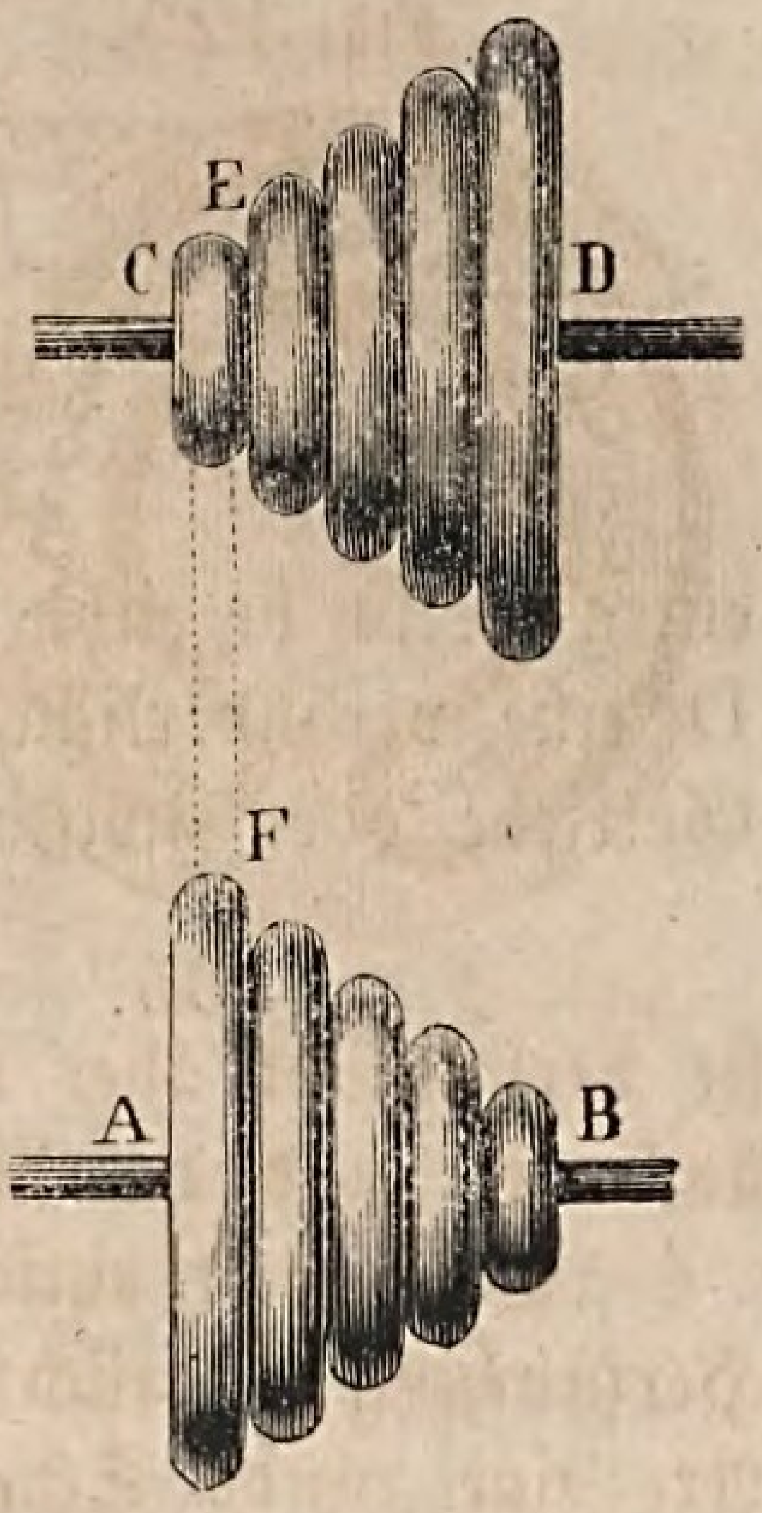
Fig. 130.



Sehr häufig soll die Geschwindigkeit einer übertragenen Bewegung abgeändert werden, sei dies nun in beliebigen Zeiten oder periodenweise. Man hat hierfür eine große Auswahl von Vorrichtungen, theils mehr theils weniger gebräuchliche. Wird z. B. eine Drehbank von einer Dampfmaschine getrieben, so hat die Kraftwelle (sie sei C D, Fig. 131,) eine gewisse gleichbleibende Geschwindigkeit. Damit diese nun an der Drehbankwelle verschiedentlich abgestuft werden könne, besetzt man beide Wellen, wie die Abbildung zeigt, mit einem Satz fester Rollen von verschiedenem Durchmesser, die sich paarweise gleich, aber in verschiedenem Sinne geordnet sind, so daß immer eine größere einer kleinern gegenüberliegt. Sind sämmtliche Rollen in Uebereinstimmung, so wird, wenn man die Halbmesser jedes gegenüberliegenden Paares zusammennimmt, immer das gleiche Facit herauskommen, mithin wird der Laufriemen, wenn er auf einem Paare die gehörige Spannung hat, auf jedem andern ebenfalls passen, wenn er darauf hin gehoben oder geschoben wird. Liegt nun der Laufriemen z. B. auf E F (Fig. 131), so geht die Kraft von einem kleinen Rade auf ein größeres

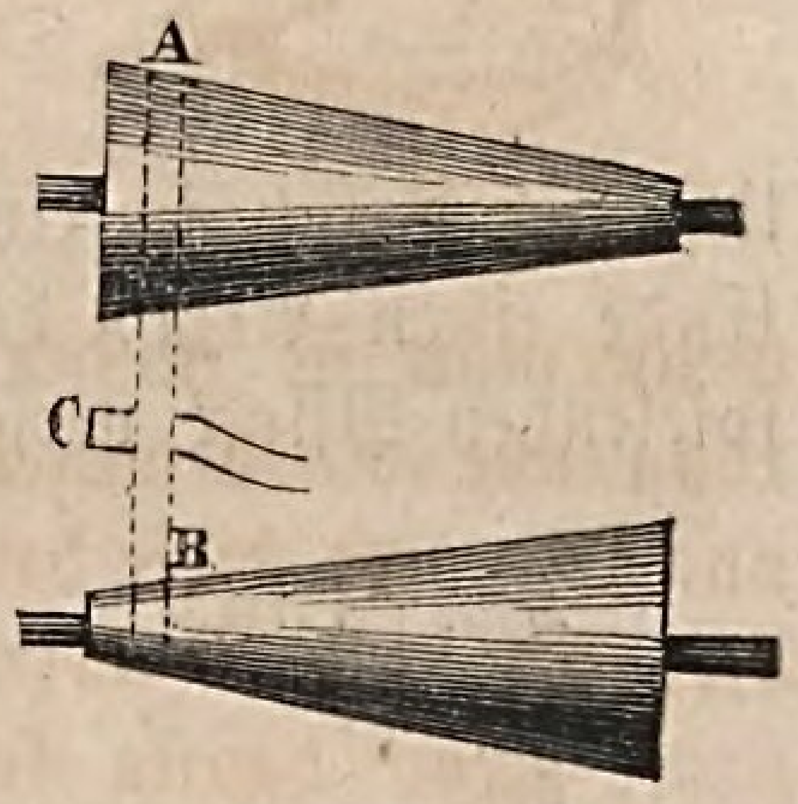
über und die Arbeitswelle dreht sich in demselben Verhältniß langsamer als der Durchmesser ihrer Rolle größer ist als der der Maschinenwelle; gerade das Umgekehrte wird stattfinden, wenn der Riemen über das jenseitige Rollenpaar geführt ist, während bei Benutzung der mittlern Rollen beide Wellen gleiche Geschwindigkeit erhalten. Ganz wie die Rollen werden nun auch zwei kegelförmige, mit ihren Spitzen in entgegengesetzter Richtung liegende Körper wirken und auf solchen wird die Verschiebung des Riemens noch bequemer von statten gehen und sich eine größere Zahl von Geschwindigkeitsgraden erzeugen lassen.

Fig. 131.



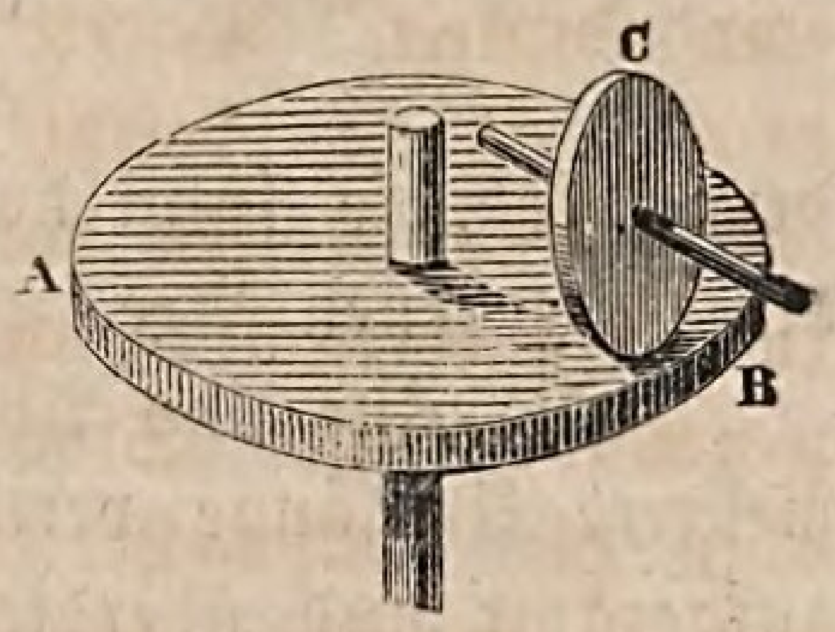
Statt der eben beschriebenen Vorrichtung wird zuweilen eine von anderer Beschaffenheit gebraucht, die denselben Zweck erreichen läßt. An der treibenden Axe sitzt hier (Fig. 133) eine feste Scheibe A B und an der zu treibenden eine kleinere C. Letztere ist auf ihrem Umfange, um die Reibung zwischen beiden Scheiben zu vermehren, mit weichem Leder überzogen. Man sieht leicht, daß der Umlauf der großen Scheibe den der kleinern und ihrer Axe zur Folge haben muß. Um aber die Geschwindigkeit der letztern beliebig abzuändern, ist nichts weiter erforderlich als die kleine Scheibe mehr nach dem Rande oder mehr nach dem Centrum der größern zu aufzusetzen. Dies geschieht entweder durch Verschiebung der zu treibenden Axe selbst oder auch nur ihrer Scheibe, welche im letztern Falle viereckig durchlocht sein und auf einem eben so geformten Stück der Axe stecken muß.

Fig. 132.



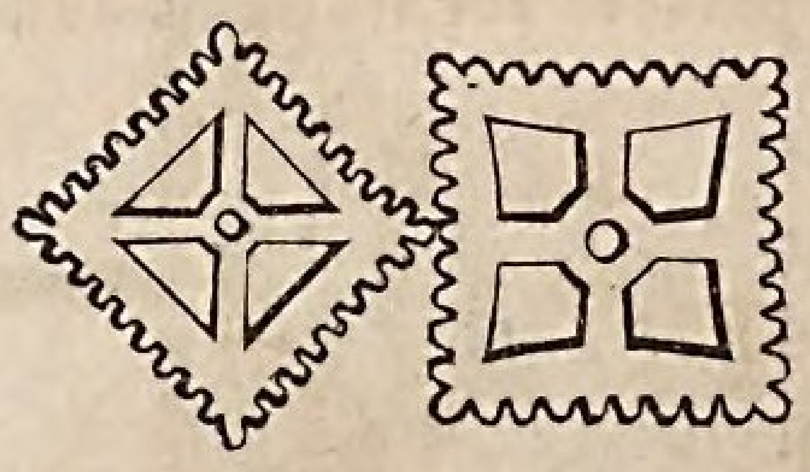
Sofern es sich um leichte Maschinerie mit Treibbändern handelt, kann man von einer stetig rotirenden Axe aus andern Axen beliebig anwachsende Geschwindigkeiten durch die Form der Rollen oder Scheiben ertheilen. Man kann diese excentrisch, oval oder elliptisch machen oder sie auch ganz unregelmäßig zurunden, so daß bald längere, bald kürzere Radien in Thätigkeit kommen. Nur müssen beide Scheiben Gegenstücke sein, so daß die Radien des einen abnehmen wo die des andern sich verlängern und umgekehrt, damit die Spannung der Treibbänder erhalten bleibt. Wird die Spannung auf andere Weise, etwa durch ein eingehängtes Gewicht unterhalten, so ist man in der Wahl der Formen noch weniger beschränkt. Auch verzahnte Stücke von verschiedenen vom Kreise abweichenden Formen, Ellipsen, verschiedentlich ausgeschweifte Räder lassen sich, wenn sie gut construirt sind, mit einander in Gang setzen; doch gehören alle diese Vorrichtungen mehr zu den mechanischen Seltenheiten, daher wir nicht weiter darauf eingehen; indeß wollen wir beispielsweise ein ungefähres Bild eines eckigen Räderpaares zur Anschauung bringen, wie sie in einzelnen Fällen, z. B.

Fig. 133.



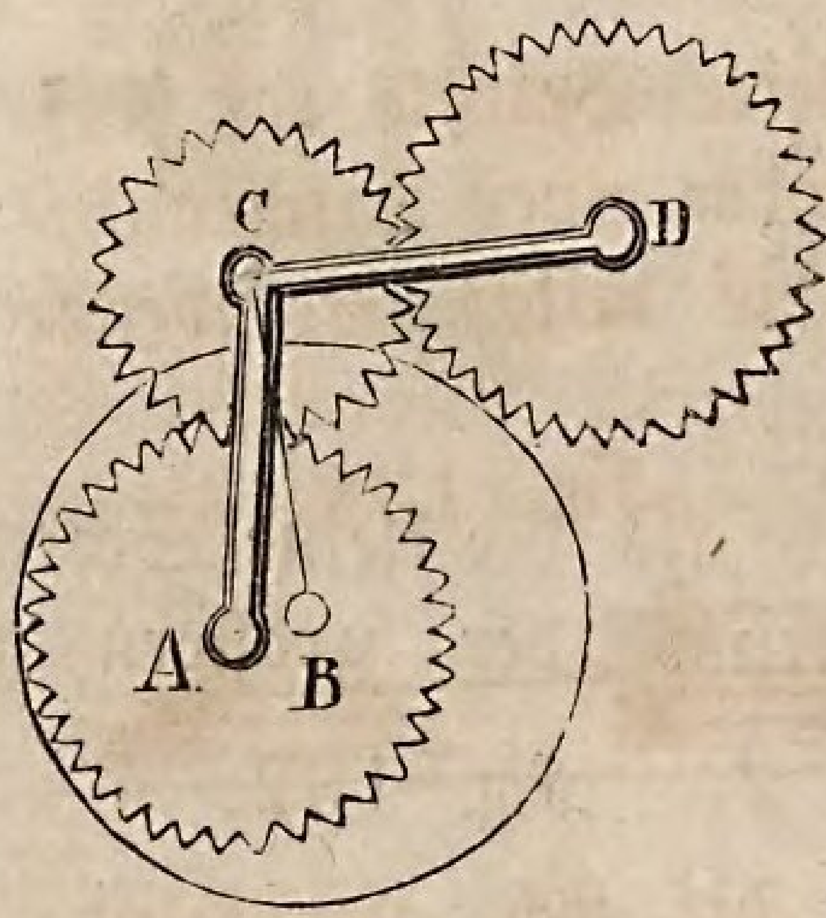
an Seidenzwirnmühlen wohl noch Anwendung finden. Hierbei wird, wie ersichtlich, im Verlaufe eines Umganges die Geschwindigkeit der getriebenen Welle viermal beschleunigt und viermal verzögert werden, die der treibenden Welle als stetig vorausgesetzt.

Fig. 134.



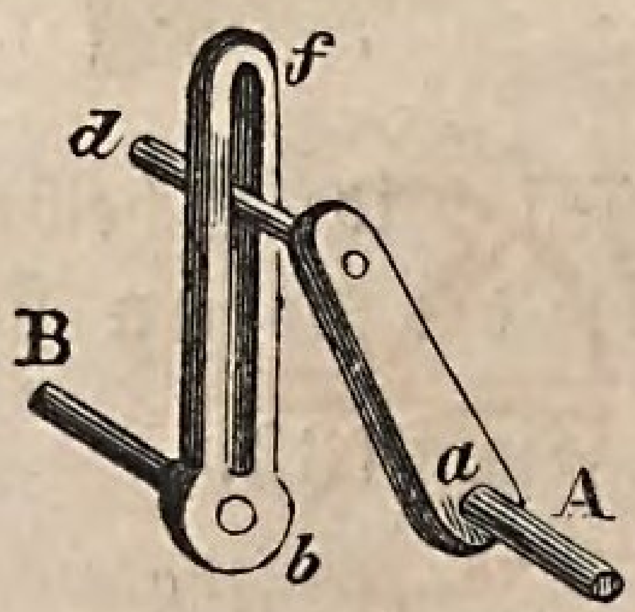
Eine aus drei Stirnrädern bestehende Vorrichtung zur Steigerung und Minderung der Geschwindigkeit während eines Umlaufes ist in Fig. 135 ersichtlich. Die Treibaxe trägt an einem Außenende das Rad A, und zwar excentrisch bei B aufgesteckt; dieses hat den durch einen Kreis bezeichneten Spielraum; es dreht sich gleichmäßig, während dem Rad D eine veränderliche Geschwindigkeit mitgetheilt werden soll. Hierzu dient das Getriebe oder Zwischenrad C, welches sich schneller drehen muß, wenn die langen Radien des Treibrades unter ihm weggehen; damit dieses aber möglich sei, hat das Rad C kein festes Lager, sondern sitzt an dem Knie, welches die beiden Gelenkstangen A C D bei C bilden. Letztere Stücke erhalten also nicht allein den Eingriff der drei Räder, sondern tragen auch das mittlere und indem sie die Bewegung einer Kurbelstange mit Balancier ausführen, lassen sie es abwechselnd steigen und sinken, wie es erforderlich ist, um den Eingriff mit dem excentrischen Rade zu unterhalten.

Fig. 135.



Eine sehr einfache Weise, eine veränderliche Winkelgeschwindigkeit hervorzubringen, kann da in Anwendung kommen wo die betreffenden Axen nahe aneinander liegen und sich in einerlei Richtung drehen sollen. Man giebt jeder Axe an ihrem Ende einen Arm, deren einer mit einem Schlitz, der andere mit einem darin spielenden Pflock versehen ist. Lägen beide Axen in derselben Linie, so ist leicht ersichtlich, daß sie sich in dieser Verbindung gleichförmig mit einander drehen müßten, die Bewegung möchte kommen von welcher Seite sie wollte. Indem sie aber auf parallelen Linien in kurzer Entfernung von einander abliegen, so decken sich die von den Armen beschriebenen Kreise nicht, sondern greifen nur in einander ein. Erfolgt demnach von einer Seite her eine Drehung, so wird der Pflock d zwar die Umdrehung auch der andern Axe veranlassen, aber da er dabei beständig seinen Abstand von der Axe B verändern wird, so folgt daraus eine stets zu- und abnehmende Winkelgeschwindigkeit der getriebenen Axe.

Fig. 136.

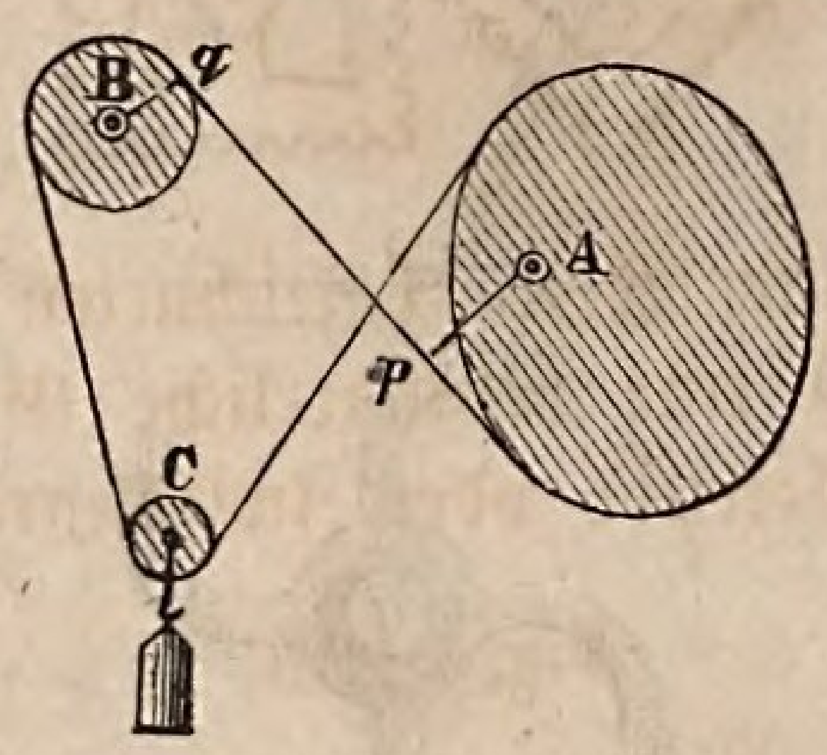


Die Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit läßt sich eben so gut auch auf mehrere Umgänge vertheilen. In Fig. 137 ist die Triebscheibe A excentrisch aufgezapft und überdies oval geformt. Dreht sich daher die Axe von A gleichförmig, so wird sie in Folge der veränderlichen Länge ihrer Radien der kleinern Scheibe B bald mehr bald weniger Band zuführen, letztere wird daher bald rascher, bald langsamer umlaufen und diese Variationen werden sich bei jeder

Umdrehung der Triebscheibe wiederholen. Dies Beispiel liefert zugleich einen der Fälle, wo eine Spannungsrolle mit Gewicht nöthig ist.

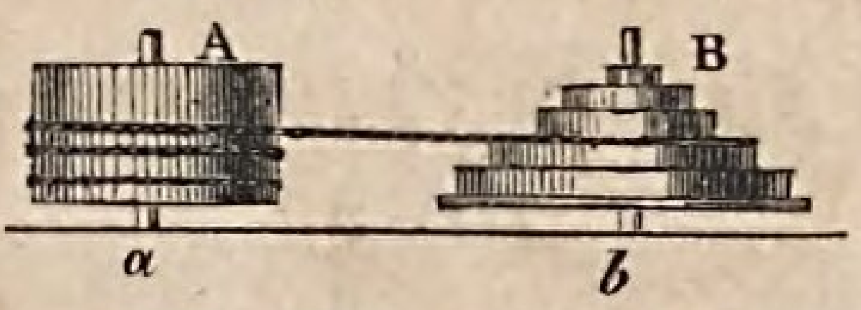
Läßt man ein excentrisches Kronrad auf ein Getriebe wirken, das lang genug ist um den Eingriff nicht zu verlieren, so wird letzteres ebenfalls dann mit vermehrter Geschwindigkeit laufen, wenn die langen Radien des Rades es angreifen; seine Geschwindigkeit wird von da bis zur entgegengesetzten Seite immer mehr ab und von da aus eben so wieder zunehmen. Läßt man umgekehrt das Getriebe unter gleichmäßiger Umdrehung auf das excentrische Rad wirken, so hat die Axe desselben begreiflich dann die geringste Geschwindigkeit, wenn die längsten Radien in Eingriff sind und umgekehrt.

Fig. 137.



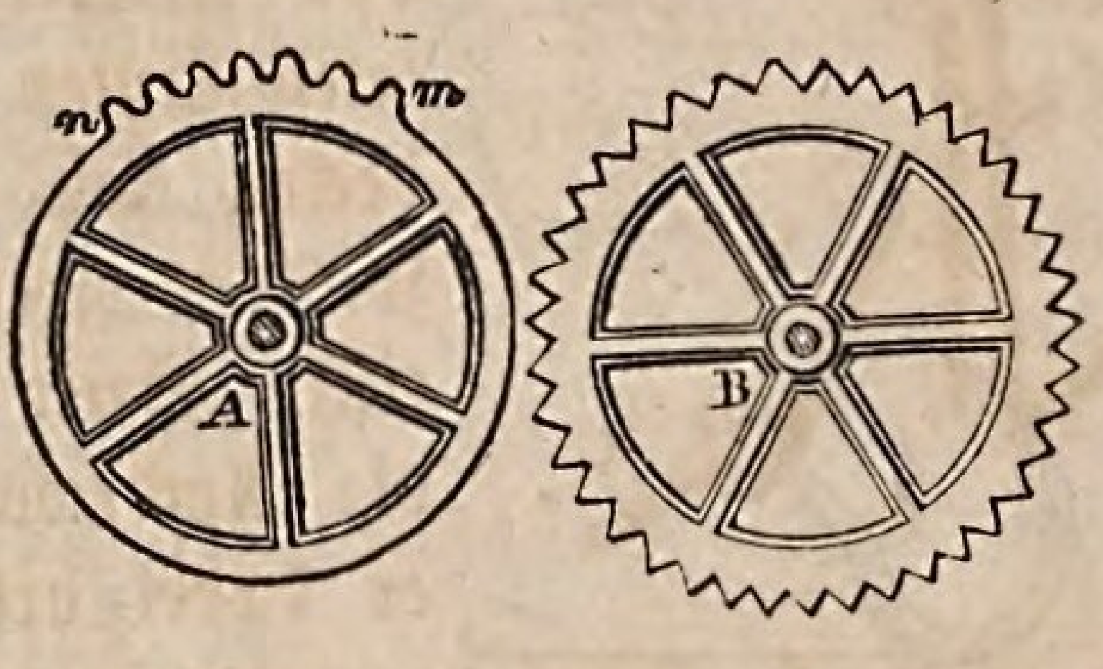
Eine über mehrere Umgänge sich erstreckende Veränderung der Geschwindigkeit kann ferner erhalten werden wenn man die eine Rolle kegelförmig macht und eine vertiefte Spirale zur Aufnahme einer Schnur darauf schneidet oder ihr auch die Form einer Taschenuhrspindel giebt. Die andere Rolle ist spindelförmig und die beide verbindende Schnur oder Kette ist mit einem Ende an der Basis des Cylinders befestigt, windet sich um die Gänge der Spindel und endet an der Spitze derselben, wo sie gleichfalls befestigt ist. Wird nun die cylindrische Rolle gleichmäßig gedreht, so folgt ihr die spindelförmige in derselben Richtung, aber ihre Geschwindigkeit nimmt zu, je näher die sich abwickelnde Schnur der Spitze kommt. Dasselbe findet denn auch in Bezug auf den Cylinder statt, wenn man sich die Bewegung von B ausgehend denkt.

Fig. 138.



Häufig ist keine continuirliche, sondern eine aussetzende, von Stillständen unterbrochene Bewegung erforderlich und die Kraft wird dann nur an bestimmten Punkten ihres Weges besonders in Anspruch genommen. Hat ein Triebrad, wie A in Fig. 139 nicht auf dem ganzen Umfang Zähne, so kann sich natürlich B nur so lange mit drehen als Zähne an ihm vorbei gehen, und wird dann bis zum nächsten Umgange des Treibrades stillstehen. Durch verschiedene Gruppirung von Zähnen und leeren Zwischenräumen kann man demnach dem getriebenen Rade in einem Umfange allerhand Fortgänge und Stillstände geben. Das Minimum von Bewegung würde augenscheinlich dann übertragen werden, wenn das Treibrad nur einen einzigen Zahn hätte. Einrichtungen der Art kommen z. B. bei Zählwerken vor, d. h. solchen Vorrichtungen, welche gewisse Momente, wie die Zahl der Umdrehungen des Rades im Gasmesser, die Zahl der mit einer Presse ausgeführten Drucke u. dgl. auf einem Zeigerblatte darzustellen haben. Hier können z. B. mit dem ersten Rad die Zehner, mit dem folgenden die Hunderter u. s. w. dargestellt werden.

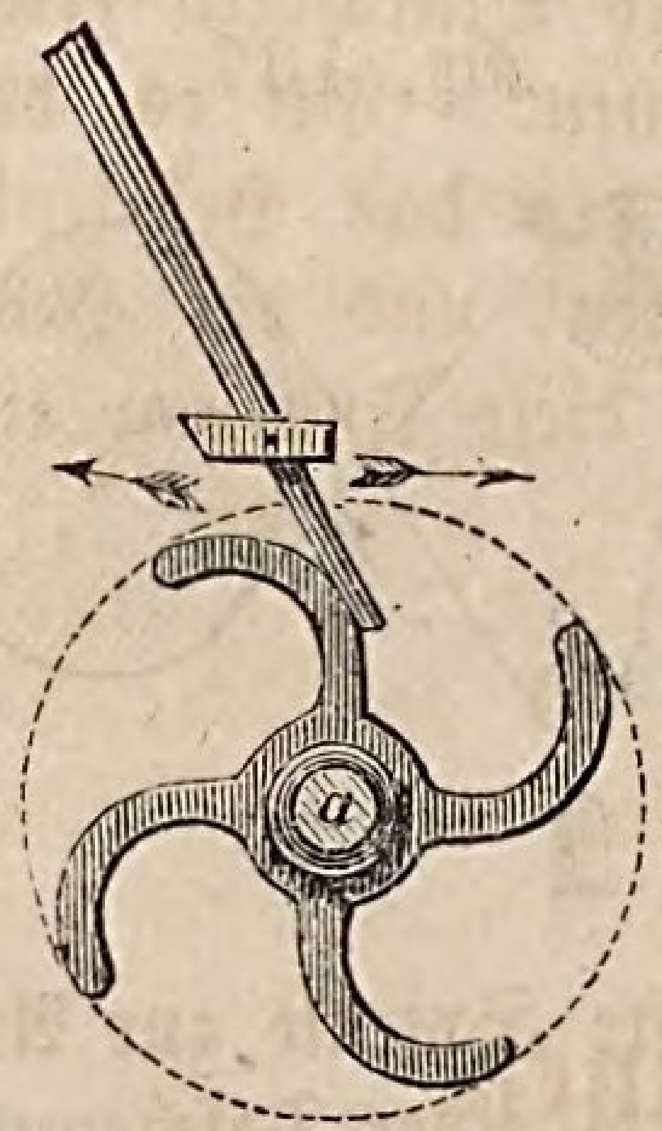
Fig. 139.



Solche einzelne Zähne, durch die ein starker Hub oder Druck ausgeübt

werden soll und die deshalb bedeutend dick sind, werden Welldaumen oder Hebedaumen genannt. Wir finden solche z. B. in den Oelmühlen zum Heben der Stampfen und bei Eisenhämmern, wo sie in starke Wellen eingesetzt sind. Im erstern Falle, wo die Stampfen senkrecht gehoben werden sollen, ist die Aufgabe ganz dieselbe als wenn eine Zahnstange durch ein Getriebe fortgeschoben werden soll, es wird daher die für die Zahnstange gefundene beste Zahnform auch hier die beste Wirkung thun. Je seltener übrigens von einem rotirenden Stück im Verlaufe einer Umdrehung eine Wirkung nach außen verlangt wird, desto allmäliger und sanfter kann man die wirkenden Hebel eintreten lassen, weil dann die Last auf einer längern schiefen Ebene angegriffen wird. Es ergeben sich daraus Formen wie die in Fig. 140 — 45 dargestellten. In der erstern wird der Hebel viermal angezogen und wieder ausgelassen und geht nach dem Aufhören jedes Angriffs in seine frühere Stellung zurück. Bei Fig. 141 soll die mit einer Frictionsrolle auf dem Hebling stehenden Stange während eines Umganges dreimal gehoben werden und mit derselben Geschwindigkeit zurückgehen, wodurch eben die dreilappige Form bedingt wird.

Fig. 140.



Wollte man den gehobenen Körper plötzlich durch sein eigenes Gewicht zurückfallen lassen, so gewönne man Raum für eine langsamere Steigung und könnte dann den Hebling wie in Fig. 142 construiren. Dreht sich ein Stück von der Form wie der Hauptkörper in Fig. 145 an einer Welle (sog. Wellfuß), so bringt es augenscheinlich bei jedem Umgange nur einen einmaligen fortwährend zunehmenden und dann plötzlich aufhörenden Druck hervor. Einrichtungen ähnlicher Art werden z. B. angewendet, wo starke Blechscheeren mit Maschinenkraft in Thätigkeit gesetzt werden. Die Vorrichtung in Fig. 145 hat übrigens eine andere Bestimmung; sie ist mit einer vertieften Führung versehen, in welcher ein an einer Stange sitzender Stift geht, und wirkt ähnlich wie Fig. 143. Diese und die folgende Figur bringen uns noch einmal auf das schon bekannte Excentric zurück. Außerdem daß eine Scheibe excentrisch auf ihrer Welle steckt, kann man auch ihrem Umfange verschiedene Formen geben, um Bewegungsänderungen oder Stillstände zu erzeugen, wie sie

Fig. 141. 142. 143.

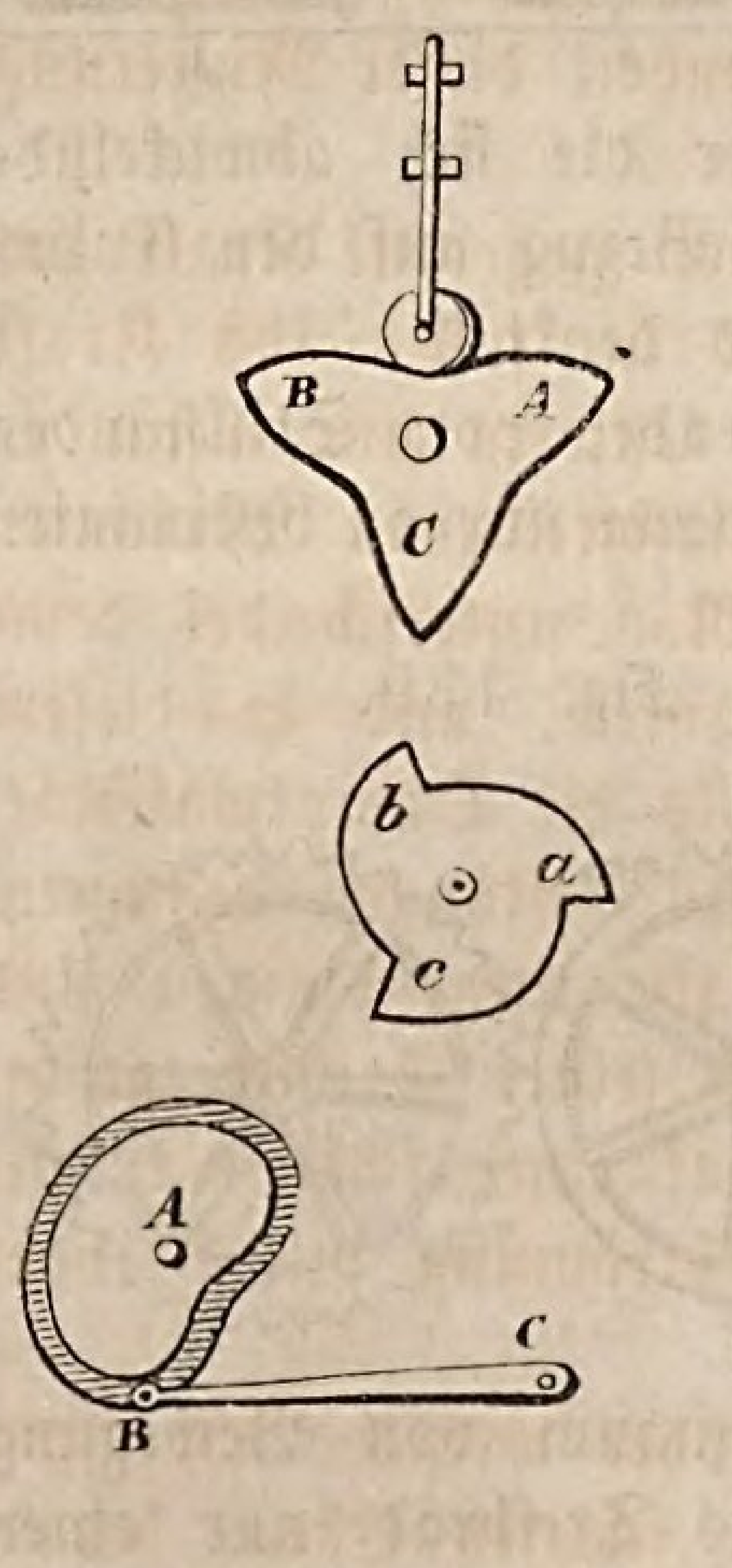
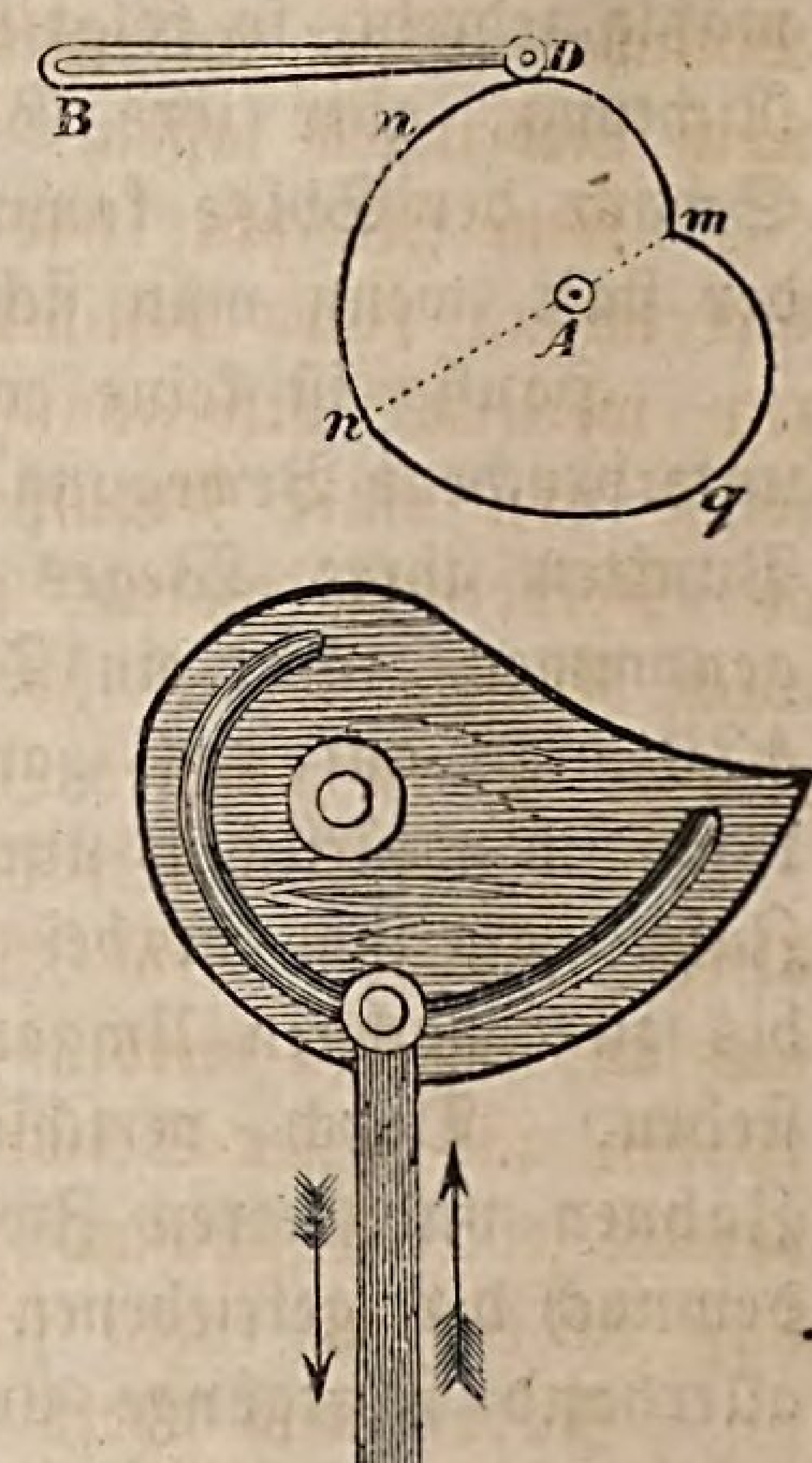


Fig. 144. 145.



gerade für einen gegebenen Zweck passen. Man nennt auch solche Stücke im Allgemeinen Excentrics, doch werden einzelne auch näher bezeichnet, z. B. Fig. 144 die Herzscheibe. Man sieht leicht, daß wenn hier der Hebel B mit der Frictionsrolle D fortwährend auf dem Rande der Platte aufliegt, er bei einer Umdrehung der letztern eine Reihe verschiedener Hebungen und Senkungen erleiden wird, welche zur Ausführung irgend welcher Function dienen. Gilt es, den Hebel von oben und unten anzugreifen, so wird der Weg, den das Hebelende durchlaufen soll, in die Fläche der Platte vertieft eingeschnitten, und der Hebel greift von der Seite mittelst eines Stiftes oder Pflocks in diese Führung ein.

VII.

Beschreibung einzelner Maschinen.

Nachdem wir in unserer Darstellung auf dem gegenwärtigen Punkte angelangt sind, wollen wir dem Leser nunmehr durch Vorführung und Beschreibung einzelner Maschinen, so weit es die Grenzen unseres Werkchens gestatten, an speciellen Beispielen die praktische Anwendung des bisher Vorgetragenen zeigen. Manches bisher unberührt Gebliebene wird sich bei Gelegenheit dieser Musterung noch beibringen lassen.

Eine Maschine hat entweder die Bestimmung, eine schon gegebene Kraft zur Erreichung eines bestimmten Zweckes zu verwenden, oder sie soll selbst Kraft zur weitern Verwendung ausgeben. Natürlich kann sie letzteres nur wenn sie selbst von einer Naturkraft getrieben wird, denn eine selbsttreibende Maschine, ein Perpetuum mobile, ist ein Ding der Unmöglichkeit. Man unterscheidet demnach Kraftmaschinen oder Motoren und ausübende Maschinen, und in diesem Sinne ist ein simples Wasserrad ebensogut eine Maschine als die Dampfmaschine.

Wir wollen mit dem Wasserrad und den übrigen Vorrichtungen beginnen, durch welche die im Wasser vorhandene mechanische Kraft aufgenommen und nutzbar gemacht wird. Die Wasserkraft aber beruht auf seiner Fallbewegung, mithin auf seiner Schwere, sei es nun, daß das Wasser auf einer schiefen Ebene bereits eine Geschwindigkeit erlangt hat und daher eine Strömung bildet, oder daß es einfach einen senkrechten Druck ausübt.

Indem das Bett eines Flusses oder Canals mehr oder weniger abhängig ist, gleitet das Wasser mehr oder weniger rasch auf der schiefen Ebene herab. Nach der Theorie der schiefen Ebene sollte dabei das Wasser eine immer mehr beschleunigte Bewegung annehmen, und es müßten also eigentlich die Ströme und Flüsse an ihrer Mündung die größte, ja eine ungeheure Geschwindigkeit haben. Glücklicherweise findet das Umgekehrte statt; die Adhäsion und Reibung der Flüssigkeit am Boden und den Wänden des Bettes hält den Lauf im Zügel, so daß, wenn auch das Bett oder der Canal noch so lang ist, doch die Strö-

mung nicht beschleunigt, sondern gleichförmig fortgeht, so lange der Querschnitt und das Gefälle des Canals sich nicht ändert. Aus denselben Ursachen erklärt es sich, daß nicht die ganze Wassermasse sich gleichmäßig in ihrem Bette fortschiebt; die Geschwindigkeit ist nahe an der Oberfläche am größten, und der schnellste Wasserlauf liegt bei einem Canal in der Mitte, bei einem Flusse über der größten Wassertiefe.

Die einfachste Art, die Kraft fließenden Wassers zu benutzen, ist die, daß man ein Rad mit breiten, flachen, geraden Schaufeln in einen freien Strom hängt, wie dies bei Schiffmühlen gebräuchlich. Hier ist Ueberfluß an Wasserkraft, und das Rad wird in der Regel nur einen kleinen Theil davon aufnehmen können. Je größer die Fläche, welche die Schaufeln dem Drucke des Wassers entgegensetzen, desto kräftiger wird selbstverständlich das Rad wirken. Es findet indeß diese Vergrößerung in der Praxis bald ihre Grenzen, denn um die Kraft über ein gewöhnliches Maß hinaus zu steigern, würden die Räder eine zu kolossale Größe erhalten müssen.

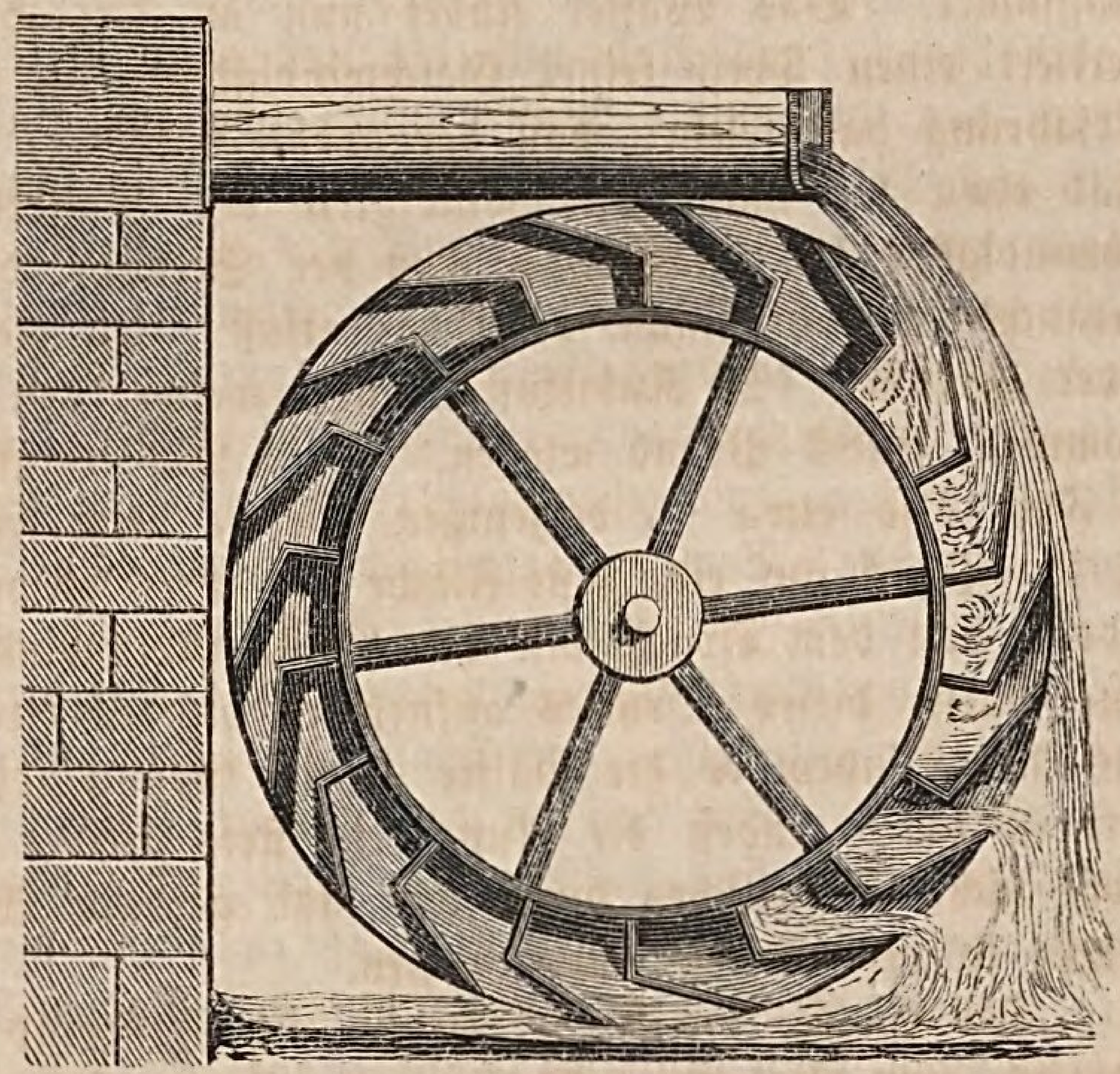
Um zu wissen was ein Wasserrad in solchem Falle leisten könne, muß man die Geschwindigkeit des Wassers, die des Rades und die Fläche kennen, welche dieses dem Wasser entgegensetzt. Ein Rad, das die Geschwindigkeit des Wassers selbst hätte, würde gar keine Arbeit liefern können, denn das Wasser würde dann keinen andern Widerstand zu überwinden haben als den der Eigenschwere des Rades. Bringt man aber das Rad mit einer Maschinerie in Zusammenhang, die es überhaupt treiben kann, so geht es im Verhältniß dieses Widerstandes langsamer. Das Wasser findet nun an den Schaufeln einen Gegendruck und verliert einen Theil seiner Geschwindigkeit, der auf das Rad übergeht. Die Erfahrung hat gelehrt, daß der größte Nutzeffect dann erhalten wird, wenn das Rad etwa die halbe Geschwindigkeit des Wassers hat. Es sei die Stromgeschwindigkeit des Wassers 6 Fuß per Secunde, die des Rades 3 Fuß, die eingetauchte Schaufelfläche 20 Quadratfuß. Es treffen mithin auf diese Fläche in jeder Secunde 120 Kubikfuß Wasser, welche, den Kubikfuß zu 54 Pfund angenommen, 6480 Pfund wiegen. Diese Wassermasse hat die Geschwindigkeit von 6 Fuß, also etwa $^1/_5$ derjenigen, die sie beim freien Falle haben würde, daher ist ihr Druck auf eine feste Fläche $^1/_5$ ihres Gewichts, 1296 Pfund. Das Rad jedoch, das dem Drucke mit der halben Geschwindigkeit ausweicht, kann nur die eine Hälfte dieses Druckes aufnehmen und übertragen, und das Wasser verläßt das Rad, indem es die Hälfte seiner Geschwindigkeit eingebüßt hat. In der Praxis fallen indeß die Nutzeffecte stets kleiner aus als die berechneten, da wohl nicht sämmtliches durch das Rad gehende Wasser sich in seiner Bewegung genau so verhält wie angenommen.

Die Größe der Kraft, welche ein Wasserrad aufnehmen kann, hängt somit lediglich von der vom Wasser getroffenen Schaufelfläche ab und der größere oder geringere Durchmesser des Rades ist hierauf ohne Einfluß. Bei einem großen Rade dreht sich zwar die Welle langsamer, bei einem kleinen schneller; aber die Summe der Kraft, die sie übertragen, ist bei beiden dieselbe, wenn ihre wirkenden Schaufelflächen gleich groß sind. Es hängt demnach

von den bei der Maschine obwaltenden Umständen ab, ob eine langsamere oder schnellere Bewegung vorzuziehen ist. Ein kleines Rad führt den Nachtheil mit sich, daß seine Schaufeln zu schräg ins Wasser und wieder heraustreten, auch zu wenig Schaufeln auf einmal wirksam sind.

Eine bessere Verwerthung auch kleinerer Wasserkräfte läßt sich erzielen durch Erzeugung eines künstlichen Gefälles, was auch in den meisten Fällen die Nothwendigkeit gebietet. Macht man quer über einen Wasserlauf einen Schutz, so wird sich das Wasser an demselben stauen, es wird nach oben ein höherer, nach unten ein tieferer Wasserspiegel entstehen; ist der obere Theil des Canals gefüllt, so wird das Wasser den Schutz übersteigen, einen sogenannten Ueberfall bilden, und es wird, nachdem die Bewegung constant geworden, in einer gegebenen Zeit genau dieselbe Wassermenge herabfließen als durch einen Querschnitt des Canals ging, ehe dem Wasser ein Hinderniß entgegengesetzt war. Die senkrechte Höhe zwischen dem obern und dem untern Wasserspiegel giebt das Gesammtgefälle, und indem man diese Höhe mit der Menge des in der Secunde herabfallenden Wassers multiplicirt, erhält man die Größe der rohen Wasserarbeit oder die Kraft, welche der Wasserfall liefern würde, wenn es möglich wäre sie ihm vollständig abzunehmen. Das Bestreben, den möglichsten Nutzeffect aus dieser Kraft zu ziehen, hat mancherlei Räderconstructionen herbeigeführt. Die Form eines Rades wird zunächst durch die Art und Weise bedingt, in welcher das Wasser auf dasselbe wirken soll. Diese Zuführung des Wassers auf das Rad kann entweder von oben oder von unten, oder auch in der Mitte geschehen; für jeden dieser Fälle wird dann die Zuleitung, das Gerinne, eine andere Einrichtung haben müssen. Ein Rad, in welches das Wasser von oben einfällt, heißt ein oberschlächtiges. In unebenen Gegenden findet sich zuweilen Gelegenheit, einen Wasserstrahl aus einer ansehnlichen Höhe auf ein Rad fallen zu lassen, und es kann oft auffallend erscheinen, wie wenig Wasser hinreicht ein solches Rad zu drehen. Sobald wir indeß wissen, wie mit der Fallhöhe die Geschwindigkeit und folglich die Kraft wächst, fällt das Auffällige weg. Indeß auch bei einer ruhigen Zuleitung von oben wird sich das Rad drehen und einen großen Theil der Wasserkraft aufnehmen, wenn dafür gesorgt ist, daß dasselbe den Umfang des Rades nicht blos berührt, sondern auf demselben eine Zeitlang zurückgehalten wird. Dies

Fig. 146.

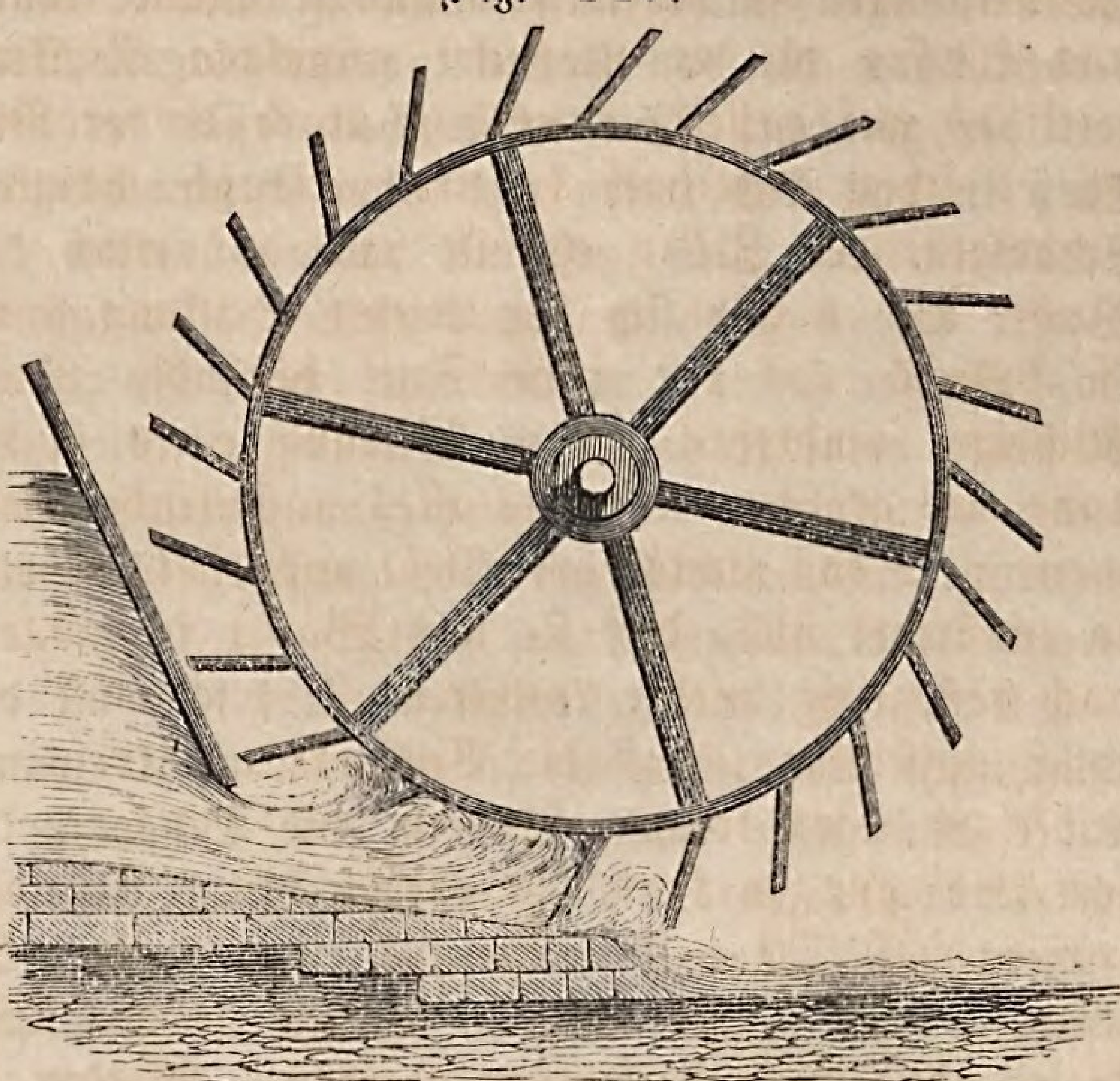


geschieht dadurch, daß man den Radumfang wie einen oben offenen Kasten formt, und in diesem Schaufeln von der Form anbringt, wie sie vorstehende Abbildung zeigt, bei welcher der eine Radkranz weggelassen ist, um die Stellung der Schaufeln sichtbar zu machen. Werden die Schaufeln von Blech gemacht, so ist der Winkel, den die obern und untern Theile hier bilden, abgerundet. Indem so das Wasser in der möglichst günstigen Richtung auf das Rad geleitet wird, wirkt es auf dasselbe einestheils durch die größere oder geringere Geschwindigkeit, die es schon außerhalb desselben erlangte, hauptsächlich aber dadurch daß es die vorbeigehenden Zellen anfüllt und auf etwa $^1/_3$ des Umganges in ihnen verbleibt, bis es allmälig bei tieferer Senkung unten wieder ausfließt. Das Rad ist dadurch auf der einen Seite beständig schwerer und muß sich nach dieser Richtung umdrehen. Die Wirkung eines oberschlächtigen Rades ist ersichtlich dann am größten, wenn es alles auffallende Wasser in seine Zellen aufzunehmen vermag, so daß nichts vorbeifließt und nicht viel verspritzt wird, und wenn die Zellen so construirt sind, daß sie das Wasser so lange als möglich behalten, sich aber auch rechtzeitig wieder entleeren. Endlich muß das Wasser in einer solchen Richtung aufströmen, daß die Verlängerung derselben nicht in den innern Radkreis selbst zu liegen kommt, sondern eine Tangente dieses Kreises bildet. Unter diesen Bedingungen kann das oberschlächtige Rad von der rohen Wasserkraft erfahrungsgemäß 70 — 75 Procent aufnehmen. Je enger die Schaufeln gestellt werden, desto weiter herunter halten sie das Wasser, aber desto mehr ist auch Gelegenheit zum Verspritzen gegeben. Werden die Zellen überfüllt, so kann die Wasserkraft deshalb nicht völlig ausgenutzt werden, weil dann schon bei geringer Neigung ein Theil wieder abfließt, also das Rad zu frühzeitig verläßt. Es ist daher Regel, das Rad und die Zellen so breit und groß zu machen, daß sie durch das disponible Wasser nur etwa zur Hälfte gefüllt werden. Uebrigens gilt auch bei diesem Rade der Satz, daß je schneller die Umdrehung, desto weniger von der lebendigen Kraft des Wassers, mit welcher es auf das Rad fällt, an dieses übergeht. Zudem schleudert ein schnell gehendes Rad das Wasser vermöge der Centrifugalkraft nach außen, so daß es die Zellen früher verläßt als bei ruhigem Gange. Man läßt daher die oberschlächtigen Räder in der Regel so langsam gehen als es die übrigen Verhältnisse erlauben. Um dann diese langsame Bewegung sogleich in eine schnellere zu verwandeln, bringt man zuweilen gleich auf dem einen Radkranze eine Verzahnung an, welche in ein kleines Rad oder Getriebe eingreift, durch das die Kraft dann weiter geleitet wird.

Räder bei denen das Wasser an der untern Seite wirkt, heißen **unterschlächtige**. Sie sind an den meisten gewöhnlichen Wassermühlen im Gange. Die Schaufeln sind meist gerade Breter, die mit den Radien des Rades gleiche Richtung haben. Vortheilhafter ist es aber, wenn sie dem Wasser etwas entgegengeneigt stehen, so daß sie mit den Radien Winkel von etwa 30 Grad bilden. Man kann nun das aufgestaute Wasser über den Schutz fließen lassen und es auf einer schiefen Fläche auf die Schaufeln des Rades leiten; in der Regel aber trifft man die Einrichtung so, daß das Wasser **unter** dem Schutze austritt und in einem nur wenig geneigten Gerinne das Rad mehr horizontal

angreift. Solche Schützen heißen dann Stauschütze. Wenn wir uns erinnern, daß der Seitendruck in einem Gefäß mit Wasser nahe am Boden dem senkrechten Drucke gleich ist, so wird es einleuchten, daß es nicht nöthig ist, das Wasser frei über den Schützen herabfallen zu lassen, sondern daß es dieselbe Geschwindigkeit erlangt und folglich dieselbe Arbeit verrichten kann, wenn es unter dem Schützen hervortritt. Bedingung ist hierbei nur, daß der Aufzug des Schützen so geregelt sei, daß nicht mehr Wasser unten abläuft als oben durch den Zufluß ersetzt wird. Wird die Abflußöffnung größer genommen, so kann zwar anfänglich mehr Arbeit geleistet werden, aber der obere Wasserspiegel wird dann begreiflicherweise mehr oder weniger rasch sinken müssen und die Wasserkraft in demselben Maße abnehmen. Diese Maßregel kann also nur da von Nutzen sein, wo nicht eine stetig fortgehende, sondern eine von Stillständen unterbrochene Arbeit geleistet werden soll und man die Wasserkraft in den Zwischenpausen auffsammeln will.

Fig. 147.



Schon der Umstand, daß in einem Mühlgerinne häufig mehrere Räder hintereinander gehen und das Wasser dabei noch das Gerinne mit großer Geschwindigkeit verläßt, macht es ersichtlich, daß die gewöhnlichen unterschlächtigen Räder die Wasserkraft nur unvollständig ausnutzen. Denn das Ideal eines Wasserrades kann nur das sein, daß das Wasser seine ganze Geschwindigkeit an das Rad abgäbe und am Ende seiner Wirkung gar keine Geschwindigkeit mehr hätte, so wie daß kein Wasser entkomme, ohne gearbeitet zu haben. In den meisten Fällen nehmen daher solche Räder nicht über $^1/_4$ der ganzen Wasserkraft auf. Sie haben indeß die gute Seite, daß sie schnell laufen.

Heutzutage, wo die Industrie so vieler mechanischer Kraft bedarf, werden auch die Wassertriebwerke mit mehr Sorgfalt angelegt. Man bringt in der Regel, um möglichst alles Wasser zu benutzen, die Wände und den Boden des Gerinnes so nahe an das Rad, daß nur noch wenige Linien Spielraum zwischen beiden besteht. Der Boden des Gerinnes schließt demnach in diesem Falle der Kreisform des Rades an und es entsteht ein Kreisgerinne oder Kropf.

Beim Durchgange des Rades durch das Kreisgerinne entstehen so gleichsam Zellen wie beim oberschlächtigen Rade, welche hier durch die meist geraden Schaufeln, die Gerinnwände zu beiden Seiten und den Kropf am Boden gebildet werden. Ist das Rad unterschlächtig, so läßt sich natürlich nur ein ganz

kurzes Stück des Kreises ins Gerinne einarbeiten, das indeß immerhin seinen wesentlichen Nutzen hat. Am untern Ende des Kreisgerinnes geht das Wasser nicht gerade fort, sondern das Gerinne hat hier wieder einen kurzen Abfall (Risch) um das Rad außer Berührung mit dem abziehenden Wasser zu bringen. Die Leistungen solcher unterschlächtigen Räder können noch einigermaßen gesteigert werden durch die von Poncelet vorgeschlagene Anwendung gekrümmter Schaufeln statt der geraden. Sie entsprechen besser der Bedingung daß das Wasser ohne Stoß in das Rad treten und ohne Geschwindigkeit dasselbe verlassen soll. Diese Schaufeln, aus Blech geformt, haben äußerlich die Richtung wie das eintretende Wasser und biegen sich aus derselben allmälig aufwärts nach der Radwelle zu. Das Wasser findet demnach eine schiefe Ebene, auf welche es lediglich drückt; es steigt vermöge seiner Geschwindigkeit diese Ebene hinan und fließt dann wieder zurück, wobei es den größten Theil seiner bewegenden Kraft auf das Rad überträgt und endlich mit sehr geringer Geschwindigkeit unten aus dem Rade heraus in den Abzugskanal fällt.

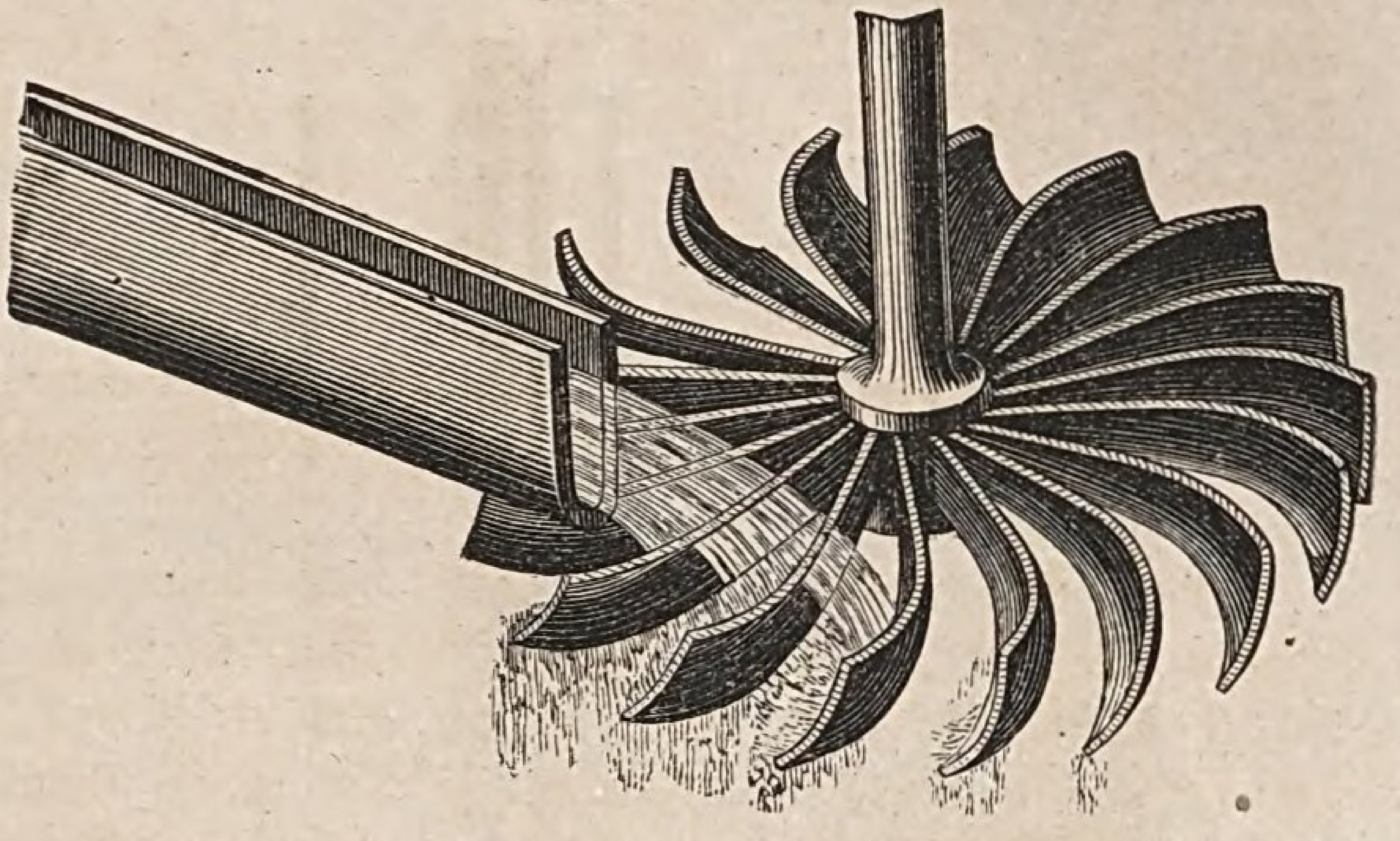
Läßt sich der Wasserzufluß nicht hoch genug legen um ihn auf ein oberschlächtiges Rad leiten zu können, so führt man es auf der halben Höhe des Rades oder auch noch tiefer in die Schaufeln und erhält dann ein mittelschlächtiges Rad. Bei einem solchen ist es thunlich, das Rad mit einem größern Theile des Umfanges, bis zu $1/4$ desselben, in ein Kreisgerinne einzufügen und es verhält sich ein solches Rad hinsichtlich seines Nutzeffects und der Langsamkeit seiner Bewegung ganz ähnlich dem oberschlächtigen Zellenrade. Es hat vor diesem selbst einige Vortheile, indem das Wasser erstlich länger am Rade und bis zu seiner tiefsten Stelle hin wirkt, wo das Wasser das oberschlächtige Rad bereits verlassen hat, und sodann deshalb, weil ersteres nicht die ganze Last des treibenden Wassers zu tragen hat, indem dieses auf drei Seiten durch das Gerinne gestützt wird. Die Zapfenreibung muß daher am oberschlächtigen Rade offenbar größer sein. Dagegen hält dieses letztere das Wasser in seinen Zellen besser zusammen, während beim ersteren nothwendig etwas Wasser verloren geht. Die Zuleitung des Wassers auf ein solches Rad kann verschieden eingerichtet sein. Man kann es mittelst eines Ueberfalles frei zuleiten oder es auch unter einer aufgesetzten Druckschleuße hindurch gehen lassen. Zuweilen wird das Wasser durch entsprechend geformte blecherne Canäle, die man Coulissen nennt, in die Radschaufeln geleitet, daher die Benennung Coulissenräder.

Das Wasser wirkt, wie man sieht, beim mittelschlächtigen Rad ebenso in zweierlei Weise wie beim oberschlächtigen, erstlich durch seine lebendige Kraft, die dem Rade beim Aufströmen einen Stoß ertheilt, und demnächst durch seine Schwere, so lange es von dem Rade zurückgehalten wird. Durch die Einrichtung des Rades und des Zuflusses kann man entweder die eine oder die andere dieser beiden Wirkungsweisen mehr hervortreten lassen. Der größte Effect wird gewonnen wenn das Wasser blos drückt; der Stoß des Wassers verursacht um so größern Kraftverlust, je größer der Unterschied zwischen der Geschwindigkeit des Wassers und des Rades ist. Indeß kann es Fälle geben wo es wünschenswerth ist, mit Aufopferung eines Theils der Kraft eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit

zu erzielen, und hier kann die größere Geschwindigkeit der Wasserzuleitung am Platze sein.

Nächst den Wasserrädern mit horizontalliegender Welle haben wir noch das liegende Rad mit aufrecht stehender Welle, Turbine oder Kreiselrad genannt, zu betrachten. Die Idee liegender Räder ist eine alte und in roher Form schon lange praktisch angewandte. Eine stehende Welle, die rings herum mit löffelähnlichen Schaufeln besetzt ist, wird in Umdrehung kommen, wenn ein Wasserstrahl auf die Schaufeln geleitet wird. Diese Vorrichtung heißt ein Spritzrad. Das Wasser wirkt hierbei lediglich

Fig. 148.



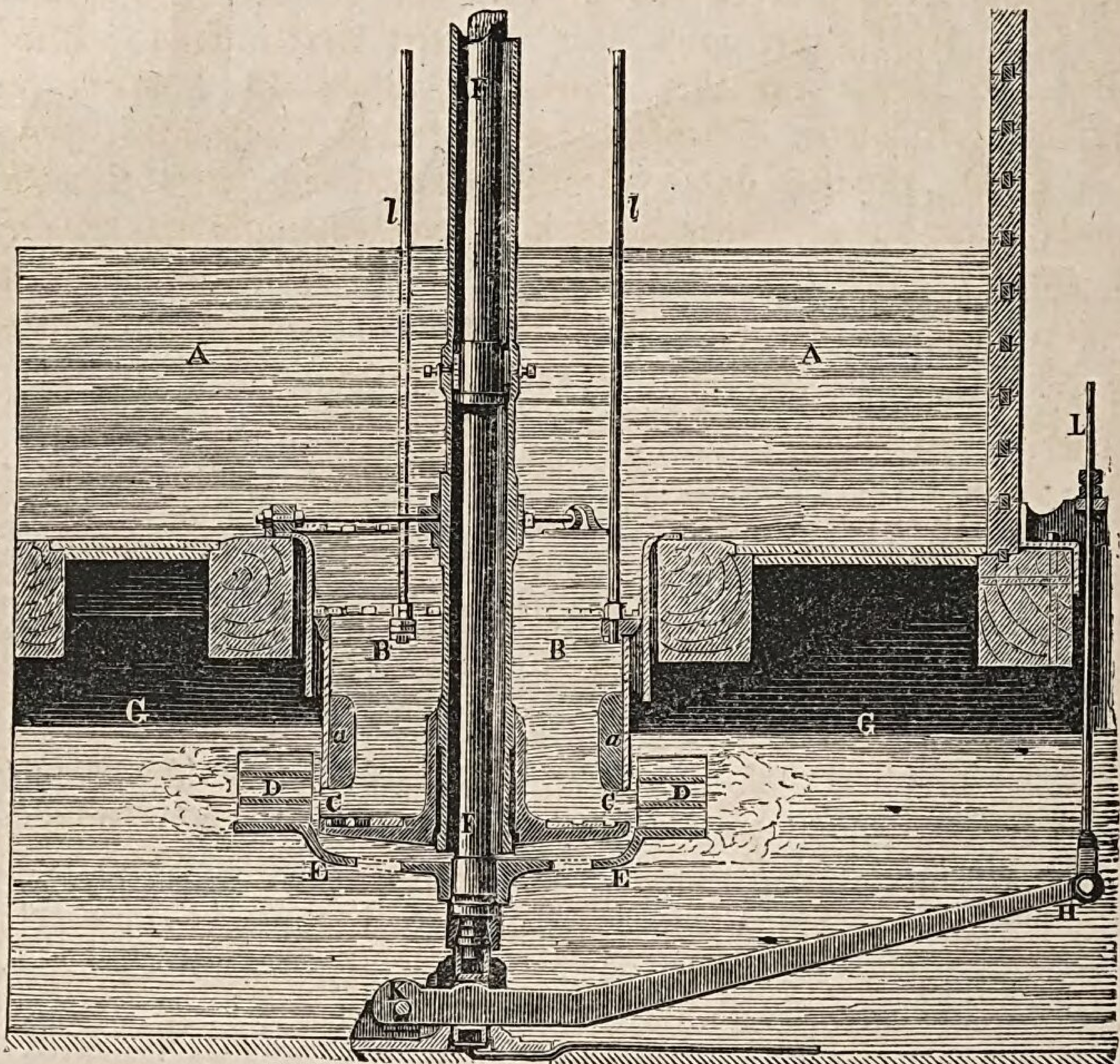
durch Stoß und man hat gefunden, daß mittelst des Spritzrades ungefähr $^1/_3$ der rohen Wasserkraft nutzbar gemacht werden kann. Hiernach werden die Theile der Schaufeln, die vom Wasser unmittelbar getroffen werden, eine Geschwindigkeit haben, die etwa $^7/_{10}$ von der des Wasserstrahls ist. Man hat diese Art Räder besonders da angewandt, wo man aus Wasserzuflüssen von hohem Gefälle, aber geringerer Wassermenge Nutzen ziehen wollte.

Eine ähnliche Einrichtung hat das Kufenrad, das sich in einem cylindrischen Gehäuse von Holz oder Mauerwerk dreht. Seine Form entspricht ziemlich den Windrädchen, welche man des Luftwechsels halber zuweilen in Fenstern angebracht sieht. Das Wasser wird durch einen Canal in tangentieller Richtung auf das Rad geleitet, fährt in einem Wirbel im Umkreis der Kufe herum und entweicht durch die Oeffnungen des Rades, indem es auf die schiefen Flächen desselben drückt und dadurch seine Umdrehung bewirkt. Die Reibung des Wassers an den Wänden verzehrt ersichtlich einen großen Theil Kraft und ein Theil Wasser geht ungenutzt durch Entweichen zwischen Rad und Wand verloren. Diese Vorrichtung kann daher nur einen kleinen Theil der Wasserarbeit, etwa 16 Procent, nutzbar machen, und selbst bei der sorgfältigsten Construction dürfte man es nicht über 25 Procent bringen. Das Kufenrad paßt noch am besten dahin, wo viel Wasser mit wenig Gefälle vorhanden ist.

Die Turbinen in ihrer heutigen Einrichtung sind seit einigen zwanzig Jahren, da sie sich als brauchbare Motoren erwiesen, in sehr ausgedehnten Gebrauch gekommen. Die erste dieser Maschinen wurde von Fourneyron consttuirt. Ihre hier folgende Beschreibung und Abbildung genügt um einen allgemeinen Begriff auch von den anderweitigen, seitdem noch ins Leben getretenen Constructionen dieser Art zu geben.

Wenn Wasser in einem hohlen Cylinder niedersteigt, der unten verschlossen ist, aber gleich oberhalb des Bodens überall Seitenausgänge darbietet, so wird es mit dem Drucke der vorhandenen Wassersäule nach allen Richtungen hin herausfahren. Liegt nun ein Rad so um den untern Theil des Cylinders, daß es

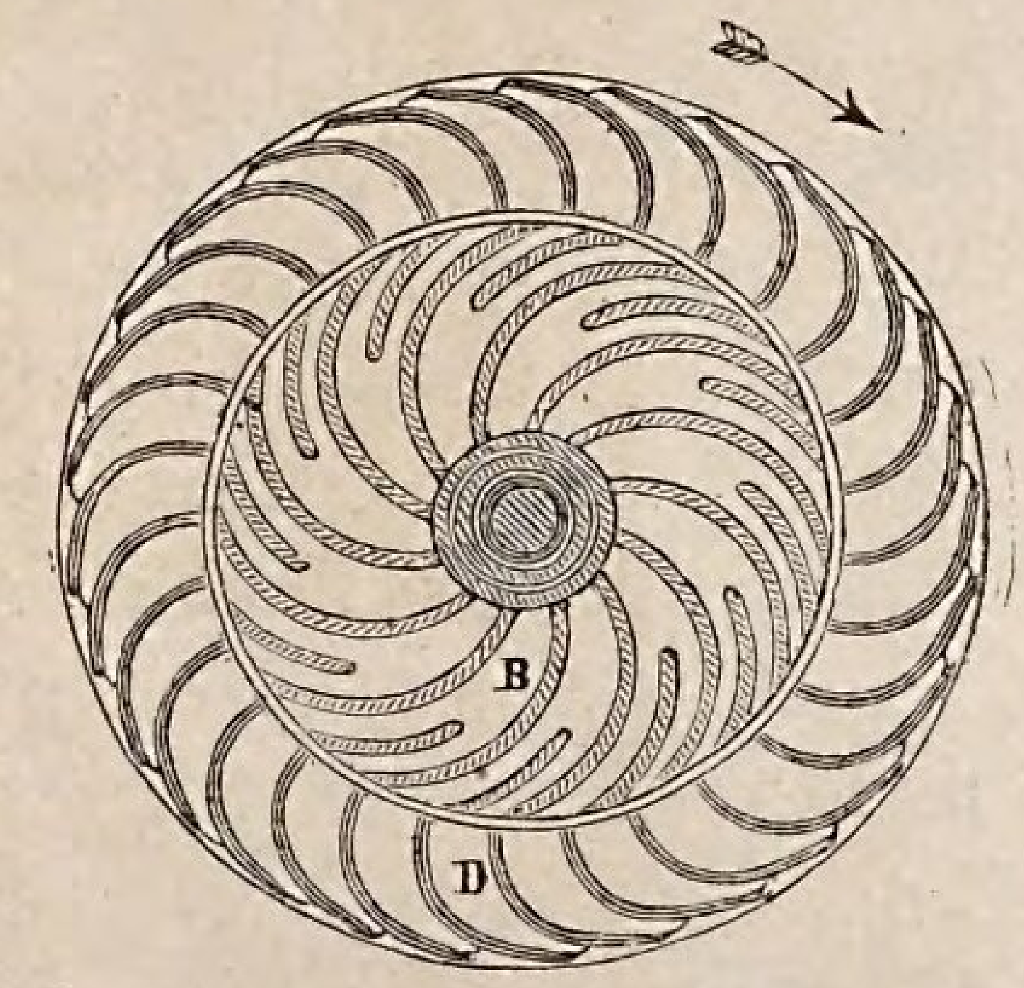
Fig. 149.



das herausfahrende Wasser überall mit seinen Schaufeln auffängt, so wird sich dieses Rad drehen, vorausgesetzt daß die Schaufeln dem Wasser lauter gleichgerichtete schiefe Flächen darbieten. Dies ist der Hauptgedanke der Turbine. Die Abbildung zeigt uns demnach im Durchschnitt in A A das vorräthige Betriebswasser, das einen möglichst ruhigen Stand haben soll, daher die Zuleitung in dieses Reservoir nur ein ganz schwaches Gefälle haben darf. Die Wassermasse setzt sich frei fort in den eisernen hohlen Cylinder B B, der sonach nur eine tiefer liegende Partie des größeren Reservoirs bildet. Der Abstand von dem Boden des Cylinders bis zum Wasserspiegel giebt die Höhe der drückenden Wassersäule, vorausgesetzt das Wasser falle vom Rade frei herunter. In unserer Abbildung liegt das Rad in dem Abflußwasser selbst, daher hier nur der Abstand zwischen den beiden Wasserspiegeln maßgebend ist. Der erwähnte Boden, der den Weg des Wassers nach unten versperrt, aber den Seitenausweg an allen Seiten offen läßt, steht demnach mit den Cylinderwänden in keiner Ver-

bindung, sondern ist an dem hohlen Rohr befestigt, das durch die Mitte des Cylinders aufsteigt und in welchem sich die Turbinenaxe dreht. Der untere Zapfen der letztern dreht sich in einer auf einem Hubhebel befestigten Pfanne; mittelst dieses Hebels, der von L aus dirigirt wird, läßt sich die Axe nebst dem Laufrade einigermaßen heben und senken. a a sind die Durchschnitte eines in dem Cylinder rings herumgeführten ringförmigen Stellschutzes, der durch die Stangen l l mittelst Schrauben gehoben und gesenkt, und dadurch die ringförmige Ausflußspalte C C beliebig verengert oder erweitert werden kann. Hier bei C C schießt also das Wasser auf allen Seiten in horizontaler Richtung heraus und drückt auf die gekrümmten Schaufeln des laufenden Radkranzes, dessen Durchschnitte in D D ersichtlich sind. Der Zusammenhang dieses Kranzes mit der Axe geschieht durch den gebogenen Theil E E, eine schalenförmig gestaltete Platte, die auch durch einzelne gekrümmte Radarme vertreten sein kann. Indem nun das Wasser dergestalt auf allen Punkten des Umfanges den Cylinder verläßt und in den Kranz des laufenden Rades einströmt, würde sich dieses letztere bei entsprechender Stellung der Schaufeln jedenfalls umdrehen. Die Wassertheilchen würden sich hierbei alle in radialer Richtung, d. h. als kämen sie direct aus der Mitte des Cylinders her, in das Laufrad begeben. Dies würde indeß nicht den vortheilhaftesten Effect geben, daher bei allen Turbinen eine Einrichtung getroffen ist, daß das Wasser in einer andern Richtung den Cylinder verlassen muß. Dieß wird dadurch bewirkt, daß der untere Theil desselben durch gekrümmte Blechwände, die sogenannten Leitcurven, in mehrere Abtheilungen geschieden ist, welche dem ausfließenden Wasser einen gekrümmten Weg anweisen. Fig. 150 giebt einen horizontalen Durchschnitt der untern Cylinderpartie nebst dem Laufrade, aus dem die Anordnung der Leitcurven und der Radschaufeln ersichtlich wird. B ist der festliegende, D der bewegliche Theil, der Radkranz. Indem die untern Theilchen der Wassersäule dem Drucke der obern seitwärts weichen, müssen sie den Weg einschlagen, der ihnen zwischen den Leitcurven offen gelassen ist; sie erhalten dadurch eine Richtung, welche sie, wenn sie auf die im entgegengesetzten Sinne geordneten Radschaufeln treffen, nicht fortsetzen können ohne einen Seitendruck auf die innern Flächen derselben auszuüben. Die Krümmungen der Leitcurven und Radschaufeln sollen einander so entsprechen, daß das Wasser beim Eintritt in das Rad keinen Stoß, sondern nur Druck ausübt. Indem es drückend längs der Schaufeln hingleitet, tritt es, wenn die Geschwindigkeit des Rades die entsprechende ist, seine ganze Geschwindigkeit an dieses ab und fällt, sofern das Rad frei liegt, an dessen äußerm Umfange fast ohne Geschwindigkeit in der der Bewegung des Rades entgegengesetzten Richtung heraus. In unserer Abbildung liegt das Rad unter dem Niveau des Abzugwassers und das treibende Wasser vermischt sich hier beim Verlassen des Rades einfach mit der Gesammtmasse. Auf die Arbeit des Rades

Fig. 150.



hat es keinen merklichen Einfluß, ob sich dasselbe im Wasser oder in der Luft dreht, und dies bildet einen der mancherlei Vorzüge der Turbinen; man kann das Rad an der tiefsten Stelle des Gefälles anbringen und es dadurch leicht gegen das Einfrieren sichern.

Man könnte die Turbinen in Hoch- und Niederdruckmaschinen eintheilen. Die ersteren sind da am Platze, wo ein geringer Wasserzufluß mit hohem Gefälle nutzbar gemacht werden soll. Je höher die Wassersäule, desto stärker ist der durch sie ausgeübte Druck und desto weniger Wasser ist folglich vonnöthen, desto kleiner ist ferner in diesem Falle der Umfang des Turbinenrades zu nehmen und desto rascher erfolgen die Umläufe desselben. Eben so gut empfehlen sich die Turbinen bei ganz niedrigem Gefälle, und wirken selbst noch kräftig, wenn die Höhe desselben nur 9 Zoll beträgt, sofern der Wasserzufluß reichlich genug ist. Das Turbinenrad muß aber immer so tief gelegt werden, daß sich über demselben eine Wasserhöhe von 3 — 4 Fuß befindet, indem bei geringerer Höhe das einfließende Wasser über demselben eine trichterförmige Vertiefung bildet, wodurch der Druck vermindert wird und selbst das Einströmen von Luft veranlaßt werden kann.

Die Turbinen geben schon bei niedrigen Gefällen eine ziemliche Zahl von Umläufen; je höher das Gefälle, desto kleiner wird der Durchmesser und desto größer ihre Geschwindigkeit. Vermöge dieser Geschwindigkeit eignen sie sich vorzugsweise zum Betriebe von schnelllaufenden Maschinen, wie sie in Spinnereien, Webereien, Sägemühlen 2c. vorkommen.

Die Dimensionen, welche den einzelnen Theilen der Turbine gegeben werden müssen, hängen demnach ganz von dem vorhandenen Gefälle und der disponibeln Wassermenge ab. Nächstdem müssen alle ihre Theile, die sämmtlich von Eisen sind, mit großer Genauigkeit angefertigt sein, daher gute Turbinen wohl nur in guteingerichteten Maschinenwerkstätten gebaut werden können.

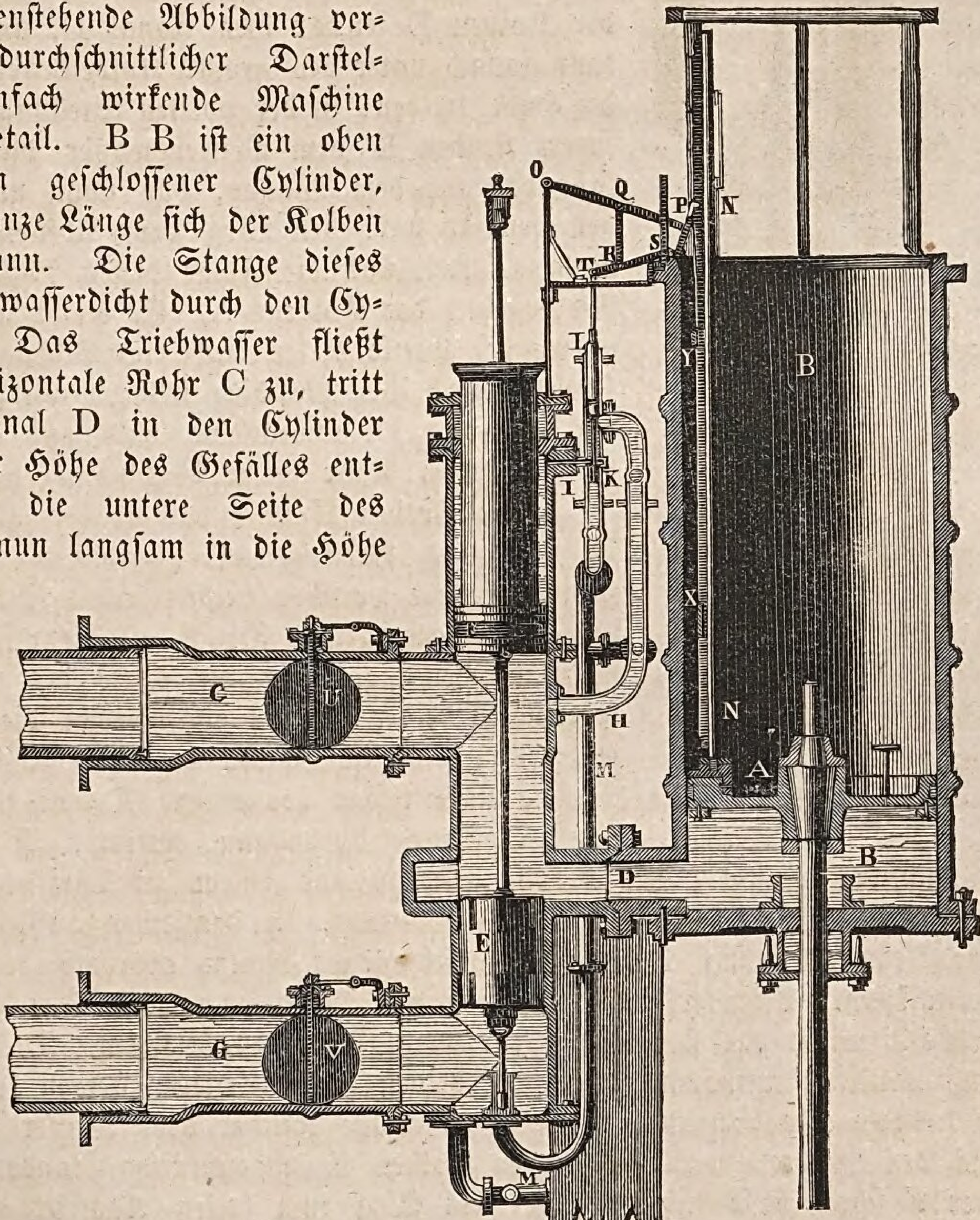
Der Nutzeffect, den gut gebaute Turbinen geben, ist dem von gut ausgeführten oberschlächtigen Rädern gleich und kann 70 — 78 Procent der rohen Wasserkraft betragen. Die höchste Nutzung giebt die Jonvalsche Turbine, die sich von der beschriebenen dadurch unterscheidet, daß das feste Rad, der Leitcurvenring, grade über dem Laufrade, in gewissen Fällen, wo es vortheilhaft ist das Wasser von unten nach oben drücken zu lassen, auch unter ihm liegt. Die schottische Turbine ist die einfachste; ihr Einfallrohr krümmt sich nach oben und mündet in ein hohles Rad, das 3 — 4 in derselben Richtung gekrümmte vorn offene Arme hat. Indem das Wasser an den offenen Enden frei heraus schießt, dreht sich das Rad in der entgegengesetzten Richtung; seine Arbeit ist jedoch nur etwa 60 Procent der Gesammtwasserkraft.

Wassersäulenmaschinen. Leitet man Wasser in einen Cylinder auf einen beweglichen Kolben, so wird dieser durch die Last des Wassers hinabgedrückt, und führt man das Wasser eines Gefälles unter einen solchen Kolben, so wird er in die Höhe steigen. Auf diesem einfachen Prinzip beruhen die Wassersäulenmaschinen, welche in Grubenwerken zum Heben des Wassers gebraucht werden und daselbst zuweilen in großartigen Dimensionen vorkommen. Sie sind

für den genannten Zweck vermöge ihrer langsam auf und niedergehenden Bewegung wohl geeignet. Ihr Kolbenspiel erinnert an die Dampfmaschine; freilich geht es um so viel träger als das blos drückende Wasser gegen den Dampf ein trägeres Element ist. Man kann mittelst dieser Maschinen einen kleinen Wasserzufluß, wenn er nur ein hohes Gefälle hat, ziemlich vortheilhaft benutzen.

Es giebt einfach und doppelt wirkende Wassersäulenmaschinen. Bei den ersteren treibt das Wasser den Kolben nur nach *einer* Richtung fort, während er seinen Rückgang durch sein eigenes Gewicht oder das der mit ihm verbundenen Stücke bewirkt; bei der zweiten Art drückt das Wasser abwechselnd auf die eine und die andere Seite des Kolbens.

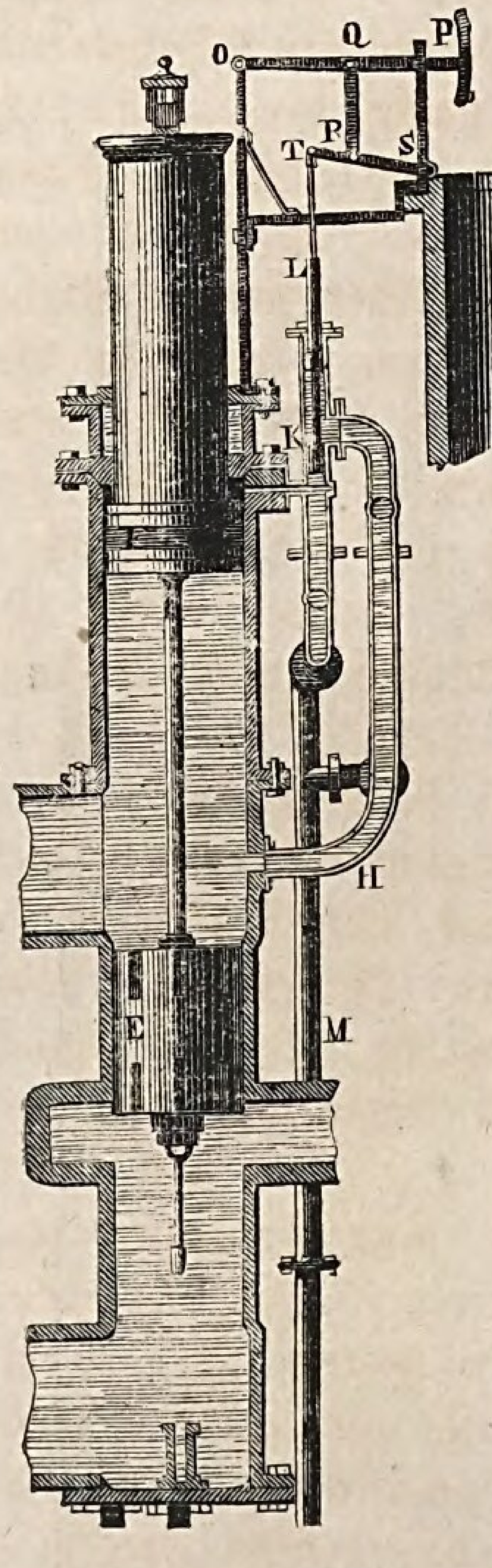
Fig. 151.



Die nebenstehende Abbildung versinnlicht in durchschnittlicher Darstellung eine einfach wirkende Maschine mit ihrem Detail. B B ist ein oben offener, unten geschlossener Cylinder, durch dessen ganze Länge sich der Kolben A bewegen kann. Die Stange dieses Kolbens geht wasserdicht durch den Cylinderboden. Das Triebwasser fließt durch das horizontale Rohr C zu, tritt durch den Canal D in den Cylinder und drückt der Höhe des Gefälles entsprechend auf die untere Seite des Kolbens, der nun langsam in die Höhe steigt. Ist dies geschehen und wird nun der Wasserzufluß in C abgesperrt, dagegen dem Canal D eine Verbindung nach außen geöffnet, so fließt das in den

Cylinder getretene Wasser natürlich durch D wieder zurück und der Kolben sinkt in demselben Maße wieder herunter. Diese wechselnde Absperrung des Zu- und Abflusses wird nun durch die links neben dem Cylinder befindliche Vorrichtung besorgt. Sie besteht der Hauptsache nach aus einem Cylinder, in welchem sich zwei auf einer und derselben Stange festsitzende Kolben E F mit derselben auf und niederschieben. Die Abbildung zeigt sie in ihrer niedrigsten Stellung, während sie in der folgenden Figur in der höchsten dargestellt sind. In der einen wie in der andern Stellung steht das Betriebswasser mit dem Raume zwischen beiden Kolben in Verbindung; aber in der ersten Stellung, Fig. 151, steht der Kolben E unter dem Canal D, und das Wasser kann sonach unter den großen Kolben treten und ihn in die Höhe treiben; in der zweiten Stellung dagegen versperrt Kolben E dem Betriebswasser diesen Weg und läßt dagegen dem Wasser, das schon unter dem Kolben gewirkt hat, den Weg zum Abfließen durch das Rohr G frei, und die Folge dieses Abfließens ist das Niedergehen des Kolbens A. Es bleibt nun zu zeigen, in welcher Weise dieses Auf- und Absteigen der beiden Kolben durch die Maschine selbst bewirkt und dadurch die Oeffnung D abwechselnd bald mit dem Rohr C, bald mit dem Rohr G in Verbindung gesetzt wird.

Fig. 152.



Der Kolben F ist etwas größer als der Kolben E und das Betriebswasser, welches stets zu dem Zwischenraume zwischen beiden freien Zutritt hat, übt demnach einen stärkern Druck auf die untere Seite des obern Kolbens als auf die obere des untern. Ein Aufsteigen beider Kolben ist hiervon die nothwendige Folge, und es ist hiermit die eine Richtung der Bewegung unmittelbar gewonnen. Damit nun aber auch die rückgängige Bewegung eintrete, ist eine weitere Vorrichtung nöthig. Sie besteht zunächst aus einem gekrümmten Rohr H, in welches ein Theil des Treibwassers eindringt, in demselben aufsteigt und durch eine kleine Oeffnung I in einen geschlossenen Raum oberhalb des Kolbens F treten kann. Letzterer erhält dadurch eine Vermehrung des Drucks nach unten, welche hinreicht das Herabgehen der Kolbenstange zu bewirken. Dieser Ueberdruck muß natürlich aufhören, sobald die beiden Kolben wieder steigen sollen, und es ist deshalb eine Einrichtung nöthig, vermöge welcher dem Wasser alsdann nicht nur der fernere Zutritt über den Kolben F abgeschnitten, sondern auch dem über F schon befindlichen Wasser ein Weg zum freien Austritt eröffnet wird. Dies geschieht durch ein paar Kölbchen, die sich, an einer und derselben Stange sitzend, in dem Rohrstück K L auf und niederschieben lassen und in Form und Function gleichsam eine verkleinerte Wiederholung der Kolben E F darstellen.

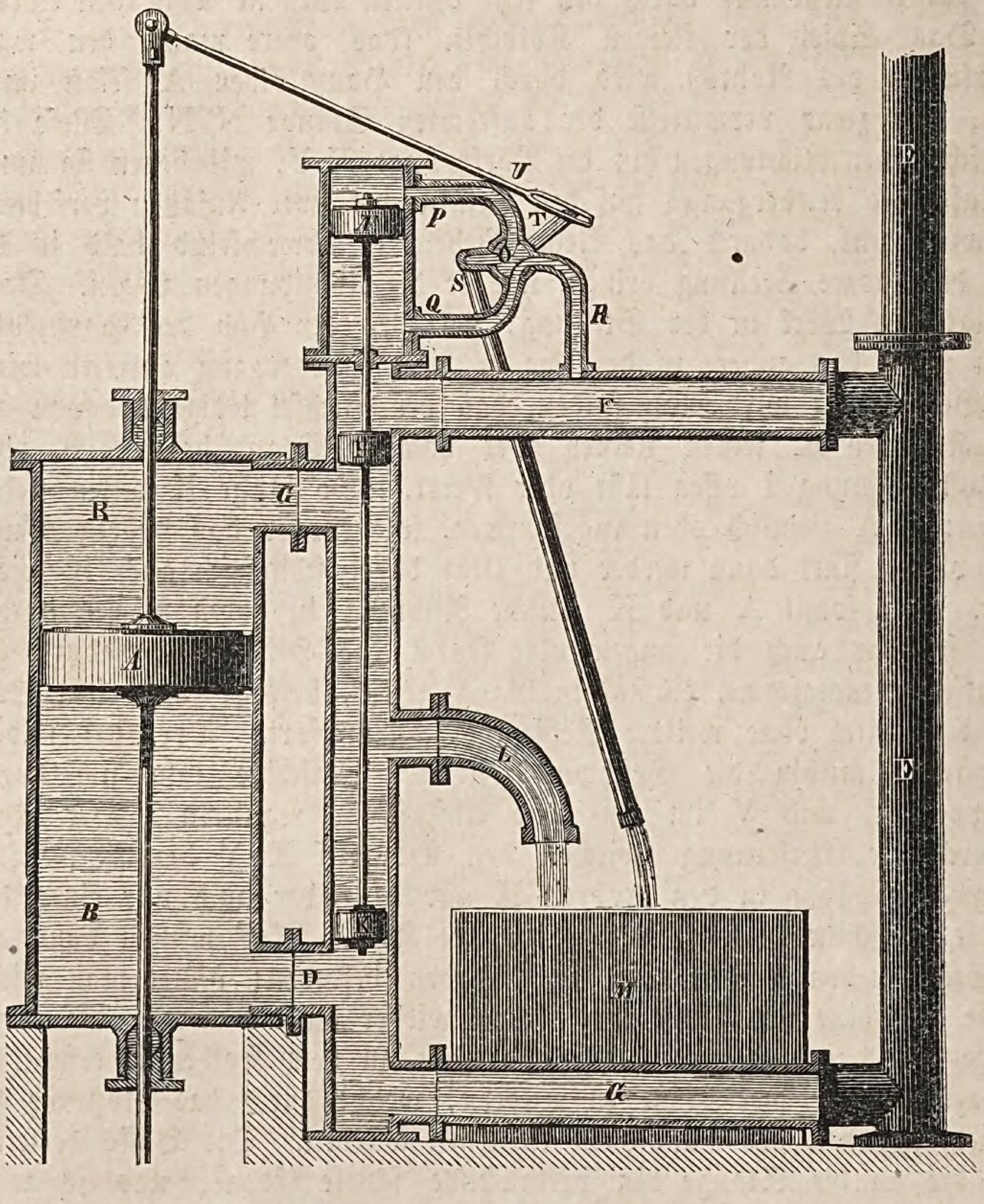
Man ersieht aus den beiden Abbildungen, daß bei einem Auf- und Niedergange der kleinen Kolbenstange das untere Kölbchen einmal unter dem Verbindungscanal I, das anderemal über ihm steht. Im ersten Falle kann das Wasser frei durch H und I in die cylinderförmige Klappe über dem Kolben F gelangen und auf letztern drücken, wodurch der Niedergang von F und E herbeigeführt wird; im zweiten Falle ist die Verbindung zwischen H und I unterbrochen, der Wasserüberdruck auf die untere Seite von F macht sich wieder allein geltend und die Kolben E F heben sich rasch wieder, während das über F stehende Wasser durch I zurück fließt und durch den jetzt offenen Weg M M in den Abzugscanal fällt. Das Spiel der kleinen Kölbchen (das obere macht den wasserdichten Verschluß des Rohrs) wird durch den Hauptkolben A selbst im Gange erhalten, und zwar vermittelst der aufrechten Stange N N. Diese hat nach zwei verschiedenen Richtungen hin die Vorsprünge X Y, mit denen sie am Schluß jedes Auf- und Niedergangs auf den kleinen mit zwei Ansätzen versehenen Bogen p wirkt und dadurch das kleine Hebelwerk abwechselnd bald in die eine, bald in die andere Stellung bringt, wie sie die Abbildungen zeigen. Das erstere Bild zeigt das Werk in der Stellung, wo eben der Hub des Hauptkolbens A beginnen muß, das andere in der, wo er seinen Niedergang antreten wird. Bei einiger Betrachtung wird man finden, daß der Wechsel lediglich davon abhängt, ob das Kölbchen K seinen tiefsten oder höchsten Stand hat, d. h. ob es die kleine Zuflußöffnung I offen läßt oder sperrt. So lange K unten steht, kann A steigen; ist A ziemlich oben angekommen, so stellt er das Hebelwerk um, zieht K nach oben, sinkt dann wieder und zieht dabei schließlich auch K wieder mit herunter. Da somit A und K gleiche Richtung in ihren Bewegungen haben müssen, so war auch die angewandte Form des Hebelwerks dadurch bedingt. Die Wassersäulenmaschine, einmal in Gang gesetzt, besorgt somit ihre Steuerung selbst und arbeitet ohne weitere Bedienung allein fort. Der Zu- und Abfluß des Wassers, mithin die Geschwindigkeit der Maschine läßt sich durch zwei Stellklappen U und V im Zu- und Abflußrohr reguliren. Der Kolbenhub wird durch die Entfernung zwischen den Daumen X Y bemessen. Das Zudrehen zweier Hähne in den Rohren H und M, oder auch nur eines derselben bringt die Maschine in Stillstand, denn die Kolben E F müssen dann auf derselben Stelle stehen bleiben, wo sie sich eben befinden; öffnet man wieder, so fängt die Maschine von selbst ihre Arbeit wieder an.

Die Einschnitte, welche unten und oben an dem Kolben E ersichtlich sind, sollen dazu dienen, die Stöße zu mildern, welche durch das plötzliche Oeffnen und Wiederschließen des Canals D entstehen würden. Die Basis derselben bildet eine bis an die Stange hin verlaufende schiefe Ebene, und so wirken sie wenigstens theilweise so, als wenn man den ganzen Kolben an seinen beiden Enden kegelförmig verjüngt hätte. Der Cylinder, in welchem der Kolben E geht, hat in der Ebene des Rohres D eine ringförmige Erweiterung, damit das Wasser, welches von D her auf den Kolben drückt, ihn rings umgeben kann, und somit der Seitendruck aufgehoben wird, der ihn außerdem an die gegenüberliegende Cylinderwand anpressen würde.

Es bedarf wohl kaum noch der Bemerkung, daß die Arbeit, welche die Maschine vollbringen soll, in der Praxis also zumeist die Bewegung von Saug- oder Druckpumpen, mit der Stange des Kolbens A in Verbindung zu bringen ist.

Die doppeltwirkende Wassersäulenmaschine hat in ihrer Einrichtung viel Aehnlichkeit mit der einfachen. Nur bewegt sich hier der Kolben in einem auf beiden Seiten geschlossenen Cylinder und die Steuerung wirkt so, daß das Triebwasser einmal unter, das anderemal über dem Kolben eintritt. Das Trieb-

Fig. 153.



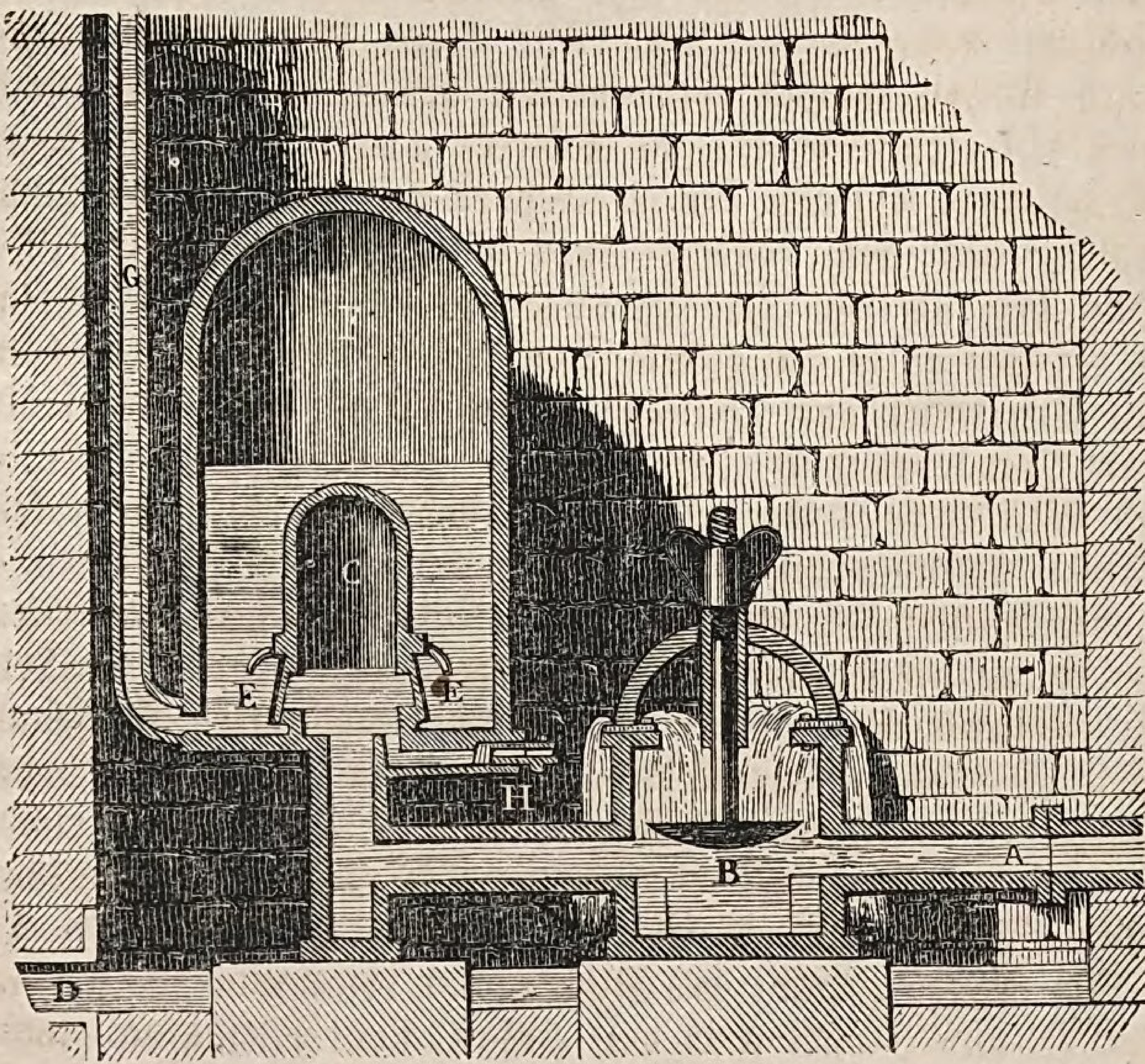
wasser steigt in der Röhre E herab; aus ihr münden die beiden Röhren F G; erstere führt das Wasser durch C über, letztere durch D unter den Kolben A. Zwei kleinere Kolben H K bewegen sich in dem neben dem Cylinder stehenden Rohr auf und ab, die Wege C D abwechselnd öffnend und schließend. In der gezeichneten Stellung ist der untere Weg offen und der Kolben A geht demnach in die Höhe. Das über ihm befindliche Wasser leistet, da es durch den Kolben

H von dem Triebwasser in F abgesperrt ist, nur durch seine eigne Schwere Widerstand; es wird gehoben und fließt durch den ihm jetzt offen stehenden Weg C L in die Abzucht M. Ist der Kolben A auf dem höchsten Punkte seines Steigens angekommen, so erfolgt der Niedergang der Stange mit den Kolben H K, diese stehen dann unterhalb der beiden Zuflußcanäle C D, und das Verhältniß ist dadurch, wie man leicht sieht, dahin umgekehrt, daß nun der Druck des Gefälles durch F und C auf die obere Seite des Kolbens wirkt und diesen wieder herab drückt, während das unter ihm befindliche, jetzt isolirte Wasser durch D zurück und durch L ausgetrieben wird. Ist der Niedergang erfolgt, so müssen die Kolben H K wieder in ihre erste Position zurücksteigen, und die Hebung des Kolbens A ist die Folge davon. Dieses Auf- und Niedergehen der Kolben H K wird nun ebenso wie in der früher beschriebenen Maschine durch das Wasser selbst, vermöge der durch den obern Cylinderdeckel gehenden Verlängerung der Kolbenstange bewirkt. Diese trägt die eingelenkte Zugstange U, welche mit ihrem andern Ende in den Steuerungsapparat eingreift. Letzterer besteht aus einer besondern Abtheilung der aufrechten Röhre, in welcher ein Kolben N spielt, der auf derselben Stange sitzt wie die Kolben H und K, und aus einem System gekrümmter Rohre, mittelst deren ein Theil des Triebwassers bald unter, bald über dem Kolben N eingeführt wird. Dieser wird dadurch bald hinauf, bald heruntergedrückt und die untern Kolben H und K müssen an der Bewegung Theil nehmen. Das Spiel dieses Nebenapparates ist leicht ersichtlich. Zwischen den Kolben H und N ist eine Scheidewand, durch welche die Kolbenstange wasserdicht hindurchgeht, so daß gar keine Communication zwischen dem obern und untern Triebwasser besteht. Das Wasser für die Steuerung wird durch das Rohrstück R hindurch beständig nach oben gepreßt; bei O trifft es aber auf einen Hahn, der ein sog. Vierweghahn ist, und auf dessen Stellung kommt es an, ob das Wasser bei P über dem Kolben oder bei Q unter demselben eintreten kann. Die Zeichnung versinnlicht die letztere Stellung; während hier der Weg R Q für das eindringende Wasser offen ist, steht auch der Weg P S für das obere zurückfließende Wasser offen, das ausgedient hat und in die Abzucht fällt. Während der Kolben A seinen letzten Schritt nach oben macht, zieht die Stange U den Hebel T so weit an, daß der Hahn O eine Vierteldrehung erhält; hierdurch werden die Wege gewechselt, das lebendige Wasser dringt bei P ein, treibt den Kolben N wieder nieder, und das Unterwasser muß durch Q S ins Freie. So wie der Hauptkolben A seinem tiefsten Stande nahe kommt, wirkt die Stange U wieder, aber nunmehr schiebend auf Hebel T und die erste Hahnstellung wird dadurch wieder hergestellt. Die Stange U hat, wie man sieht, einen langen Schlitz, und in diesen greift ein an dem Hebel T sitzender Stift. Auf dem größten Theile des Weges, den der Kolben A macht, kann demnach eine Bewegungsübertragung von U auf T nicht stattfinden, sondern nur eine Gleitung, während welcher der Hahn seine Stellung unverändert behält; ein Zug oder Schub findet, wie gesagt, allemal erst dann statt, wenn der Kolben A an dem einen oder andern Ende seines Weges anlangt, weil erst dann der Stift in Angriff genommen wird. Diese Maschine ist, wie man sieht,

eben so gut selbstthätig als die erstbeschriebene, so lange die Widerstände nicht größer werden als die Wasserkraft.

Der hydraulische Widder oder Stoßheber ist eine von Montgolfier erfundene sinnreiche Vorrichtung, durch welche die Kraft eines Wasserfalles dahin benutzt wird, daß er selbst einen Theil des Wassers höher hebt als die Gefällhöhe ist. Es habe ein Wasserbehälter keinen andern Abfluß als ein horizontales Rohr an seiner Sohle. So lange die Außenmündung dieses Rohres offen ist, wird das Wasser fließen und eine Geschwindigkeit annehmen, welche der Druckhöhe nach Abzug der Reibung im Rohr entspricht. Unterbricht man nun den Ausfluß durch plötzliches Schließen der Mündung, so muß das sämmtliche eben im Rohr in rascher Bewegung befindliche Wasser eben so plötzlich stillstehen, was natürlich nicht ohne einen bedeutenden Stoß auf die Wände des Rohres abgehen wird. Steht nun ein aufrechtes Rohr mit dem Ausflußrohr in Verbindung, und hat an seinem untern Ende eine sich nach oben öffnende Klappe, so wird diese letztere sich durch den Stoß des Wassers heben und dieses wird in das Steigrohr bis zu einer gewissen Höhe eindringen. Wird hierauf der Abfluß des Wassers durch das horizontale Rohr wieder hergestellt, so wird die Wassersäule im Steigrohr von der Klappe zurückgehalten; ein zweiter Schluß des Ausflusses erzeugt einen neuen Stoß, der wieder etwas Wasser ins Steigrohr treibt u. s. w. Natürlich würde die Wassersäule im Steigrohr endlich so hoch und mithin so schwer werden, daß die Klappe, auf welcher sie lastet, sich nicht mehr öffnen würde. Der Arbeitsbereich des Apparates wäre hiermit überschritten und der obere Abfluß muß daher etwas tiefer als diese äußerste Grenze liegen. Die Druckhöhe des Stoßhebers hängt von der Geschwindigkeit des Wassers im Abflußrohr, also zunächst von dem vorhandenen Gefälle ab. Jedenfalls läßt sich das Wasser auf eine ansehnlich größere Höhe heben, als das Gefälle selbst hat. Natürlich bildet die gehobene Menge immer nur einen kleinen

Fig. 154.



Theil des durchfließenden Wassers, obschon bei guter Ausführung des Apparates mehr gehoben wird als bei schlechter. Die Vorrichtung ist eine selbstthätige, denn das abwechselnde Oeffnen und Schließen des Ausflusses wird durch eine vom Wasser selbst bewegte Sperrklappe bewirkt. Die simpelste Einrichtung des Stoßhebers würde demnach nur eine horizontale und eine verticale Röhre und zwei Klappen erfordern. Die hier gegebene Durchschnittsansicht stellt eine etwas complicirtere, von Montgolfier selbst praktisch ausgeführte Form dar. Das Wasser fließt hier aus einem höher gelegenen Reservoir von rechts her im Rohre A zu, steigt in einem cylinderförmigen Aufsatz in die Höhe und fließt über dessen Ränder ab. Es umspielt dabei die Scheibe oder das Ventil B, das von einem Bügel gehalten wird und dessen Stiel in einer Hülse verschiebbar ist. Diese Tieflage des Ventils kann jedoch nur dann stattfinden, wenn das Wasser nicht seine volle Geschwindigkeit hat, wie sie die Druckhöhe giebt, also kurz nach dem Ingangsetzen und nach jedem erfolgten Stoße. Ist aber die Strömung in vollen Gang gekommen, so ist der Druck auf das Ventil von unten nach oben so stark geworden, daß dieses sich plötzlich hebt und indem es sich an den einspringenden Kranz anlegt, dem Wasser den Ausweg völlig sperrt. Das in dem ganzen Canal A strömende Wasser erleidet dadurch eine plötzliche Stockung und übt einen beträchtlichen Stoß auf alle Wandungen aus, die es einschließen. Dieser Stoß öffnet die Klappen E E und eine Portion Wasser dringt durch dieselben in das umgebende Reservoir ein. In sehr kurzer Zeit hat aber das Zuflußwasser seine ganze Geschwindigkeit verloren; der Druck auf das Ventil B nimmt so weit ab, daß dieses durch seine eigne Schwere wieder herabfällt, während gleichzeitig die Klappen E E durch das über ihnen stehende zurückströmende Wasser geschlossen werden und nun dasselbe Spiel von neuem beginnt. Die ganze Einrichtung bildet demnach von der Einmündung des Rohres A bis zur Ausflußmündung des Steigrohrs G ein geschlossenes Röhrensystem, das abwechselnd durch das Ventil B geöffnet und geschlossen wird. Das hier ausfließende Wasser wird durch den Abzugscanal D fortgeführt.

Der Zuflußcanal steigt links senkrecht auf und endigt in dem glockenförmigen Theile C, in dessen Wänden die beiden Klappen sitzen. Dieser Theil C ist zugleich ein sogenannter Windkessel, und die in seinem obern Raume eingeschlossene Luft hat auf den Gang der Maschine einen vortheilhaften Einfluß. Fände das Wasser, nachdem es durch den Schluß des Ventils plötzlich in Stillstand gekommen, sich überall von festen Wandungen eingeschlossen, so würden nicht allein die Stöße die ganze Vorrichtung heftig erschüttern, sondern es müßte auch bei jedem Stoße die im Steigrohr G befindliche Wassersäule von neuem aus dem Ruhezustande in Bewegung gebracht werden, wodurch ein Theil der Arbeit verloren gehen würde. Die Luft im Windkessel mäßigt nun nicht allein den Stoß des Wassers, sondern bewirkt auch eine bessere Verwerthung der Kraft. Denn von dem Augenblicke an, wo dem Wasser der Ausweg verschlossen ist, preßt es die Luft im Windkessel zusammen, und verliert dadurch allmählig seine Geschwindigkeit. Ist das Wasser zum Stillstand gekommen, so übt die Luft, indem sie ihren frühern Raum wieder einzunehmen strebt, ihrerseits einen Druck

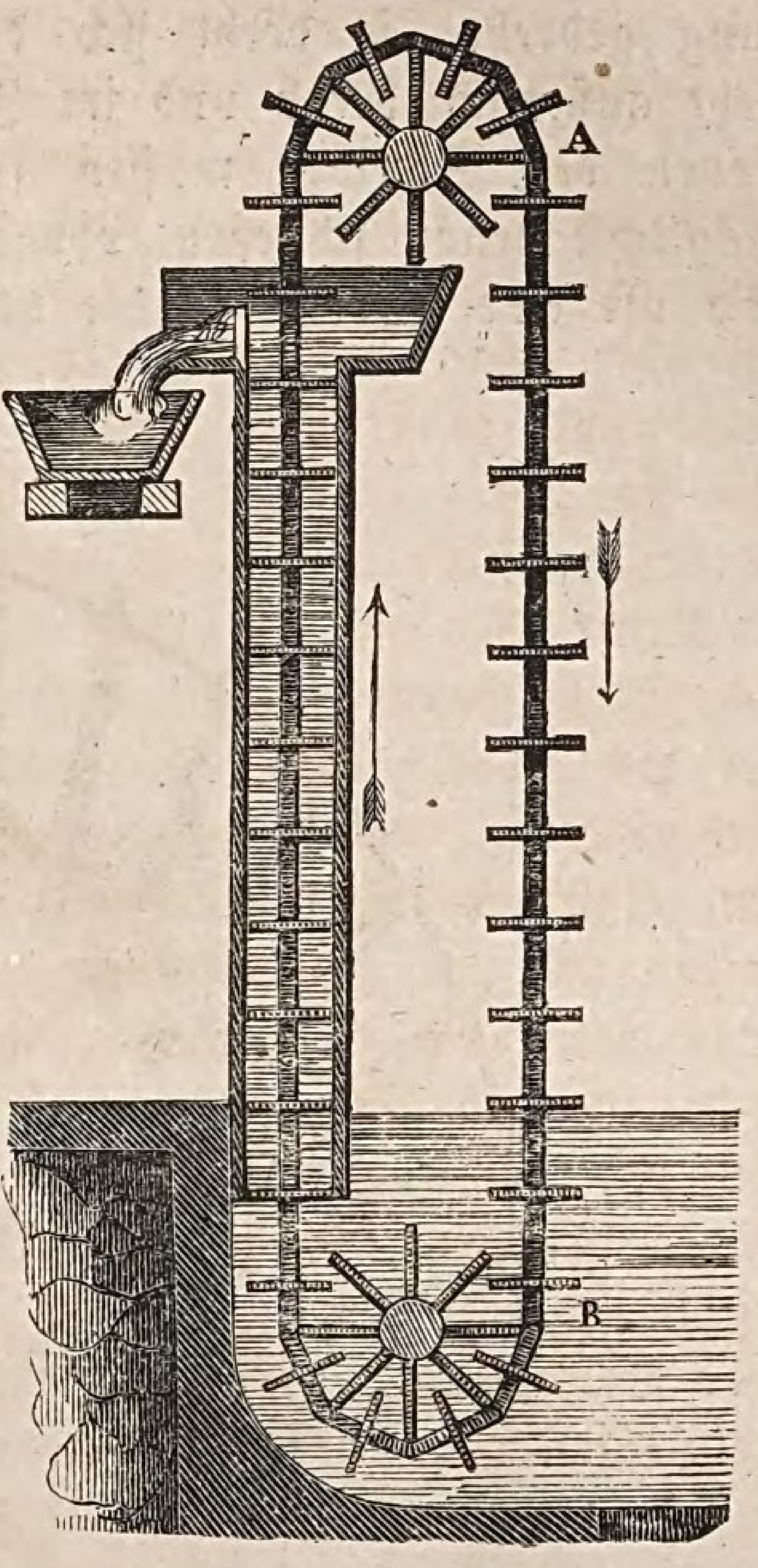
auf das Wasser aus, das nun nach dem Rohr A hin zurücktritt. Währenddem bleiben die Klappen E geöffnet und das Wasser geht so lange durch sie hin, bis der Druck, der beständig von oben auf sie wirkt, größer ist als der von der innern Seite kommende. Das Wasser weicht, von der sich ausdehnenden Luft getrieben, währenddem noch immer zurück, bis der Druck der innern Luft dem der Atmosphäre gleich oder selbst noch etwas geringer wird. Bei diesem Stande der Dinge muß dann nothwendig das Ventil B wieder herunterfallen, das Wasser fließt nun wieder hier aus und zwar so lange, bis es die nöthige Geschwindigkeit angenommen hat, um sich diesen Weg von neuem zu versperren. Ist über dem Windkessel, wie es die Abbildung zeigt, noch ein zweiter größerer angebracht, so braucht sich das eingetriebene Wasser nicht sofort vollständig in das Steigrohr zu begeben, sondern es steigt zugleich in diesem größern Behälter in die Höhe und preßt die über ihm befindliche Luft zusammen. Der Theil der Kraft, der hierauf verwandt wird, ist aber nicht verloren, denn nach erfolgtem Stoße dehnt sich die Luft wieder aus und preßt ihrerseits das Wasser in das Steigrohr. Ohne diese Einrichtung würde der zum Oeffnen der Klappen nöthige Druck von unten viel größer sein müssen, da der Stoß dann direct und ohne elastisches Zwischenmittel auf die Wassersäule des Steigrohres übertragen werden würde. Indem aber die Kraft zum Theil an die Luft abgegeben wird, wirkt diese auch in den Pausen zwischen den Stößen pressend auf die Wasserfläche, und die Folge davon ist, daß der Ausfluß ein continuirlicher wird, während er sonst stoßweise erfolgen würde. Ganz derselben Einrichtung werden wir an der Feuerspritze wiederbegegnen; sie dient dort wie hier als Regulator der Bewegung.

Das Wasser verschluckt immer eine gewisse Menge der Luft, mit welcher es in Berührung steht, und zwar wird um so mehr Luft aufgenommen, je größer der Druck ist, mit dem sie auf das Wasser gepreßt wird. Es würde sich demnach im vorliegenden Falle die Luft im Windkessel allmälig erschöpfen, wenn nicht für ihren Wiederersatz gesorgt wäre. Dieser wird bewirkt durch eine horizontale Oeffnung bei H, die mit einer nach innen sich öffnenden Klappe versehen ist. In dem Moment nun, wo durch das Zurücktreten des Wassers nach A eine Luftverdünnung im Innern entsteht, drückt die äußere Luft die Klappe auf, ein wenig Luft dringt ein und mischt sich mit der schon im Kessel C befindlichen. Beim nächstfolgenden Stoße tritt sodann eine entsprechende kleine Luftmenge mit durch die Klappen E und steigt als Ersatz in den Raum F hinauf.

Von den hydraulischen Motoren gehen wir zur Betrachtung solcher Apparate über, bei welchen irgend eine Kraft dazu verwandt wird, Wasser in Bewegung zu setzen, besonders zu heben. Es giebt solcher Maschinen sehr viele, theils ganz kunstlose, theils complicirtere, und es kommt vornehmlich auf die Menge des zu hebenden Wassers, auf die geringere oder größere Höhe, zu der es gehoben werden soll, und auf die sonstigen Umstände an, welcher Apparat für einen einzelnen Fall passend oder ausreichend ist.

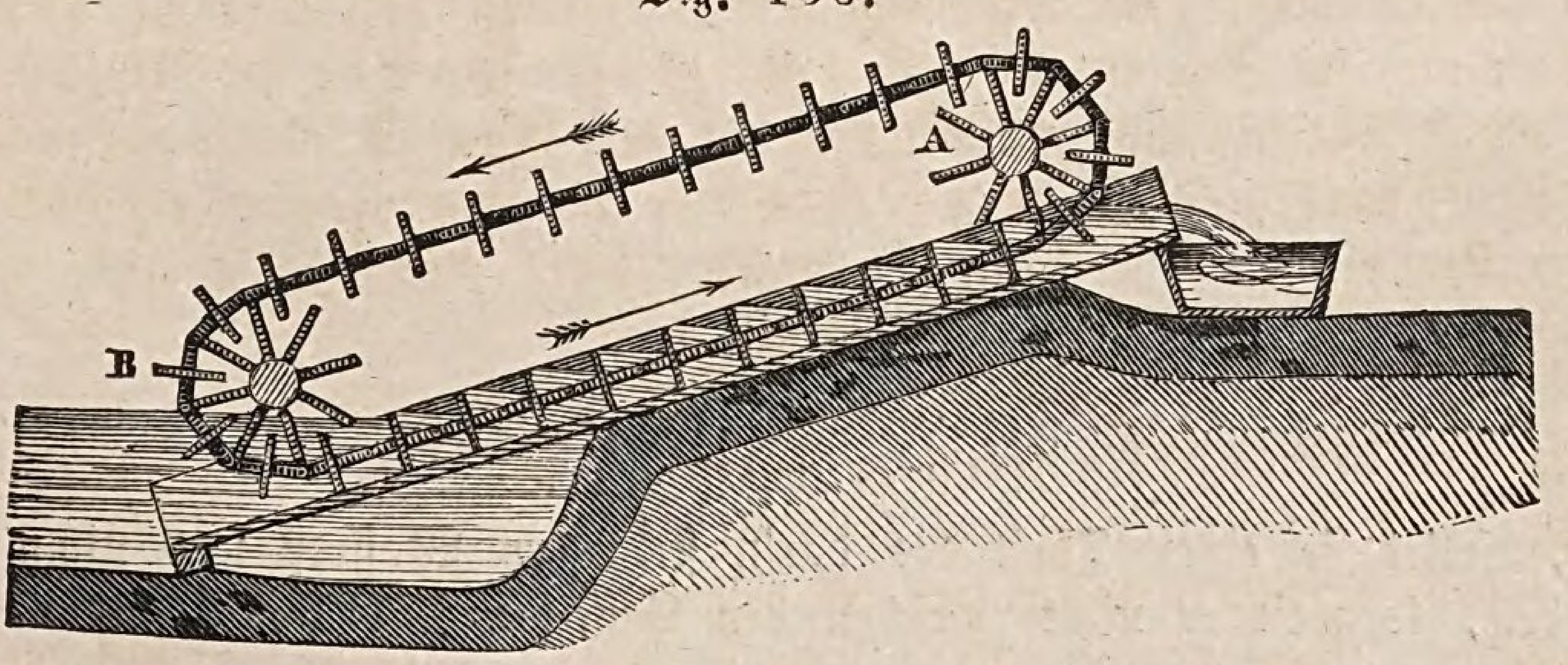
Die zum Heben einer Wassermenge auf eine bestimmte Höhe nöthige Kraft ist immer dem Produkt aus dem Gewicht des Wassers und der Hubhöhe gleich; da indeß bei jeder Maschine Kraftverluste stattfinden, so wird ein um so größerer Kraftzuschuß nöthig werden, je unvortheilhafter die Construction des angewandten Apparates ist. Kraftverluste können entstehen durch Reibung oder Stöße fester Maschinentheile auf einander; durch die Reibung des Wassers an den einschließenden Wandungen; durch plötzliche Aenderungen der Geschwindigkeit oder der Richtung des bewegten Wassers; dadurch daß das gehobene Wasser, auf der bestimmten Höhe angekommen, noch eine Geschwindigkeit besitzt, welche nichts nützt, also vergeblich ertheilt ist; endlich dadurch, daß bereits gehobenes Wasser wieder zurückfließt, ehe es an den Ort seiner Bestimmung gelangt. Alle diese Verlustquellen müssen bei Construction von Wasserhebungsmaschinen in Betracht gezogen und so viel als möglich verringert werden.

Fig. 155.



Das Bedürfniß, Wasser für den Gebrauch zu schöpfen oder solches aus Vertiefungen fortzuschaffen, gab schon frühzeitig Veranlassung zu gewissen einfachen hierauf bezüglichen Constructionen. Die hierher gehörige Wasserschnecke haben wir schon S. 75 kennen lernen; dieselben Dienste leisten bei Hebung von Wasser auf geringe Höhen die Paternosterwerke und die Schöpfräder. Erstere hatten in ihrer Urform ein endloses

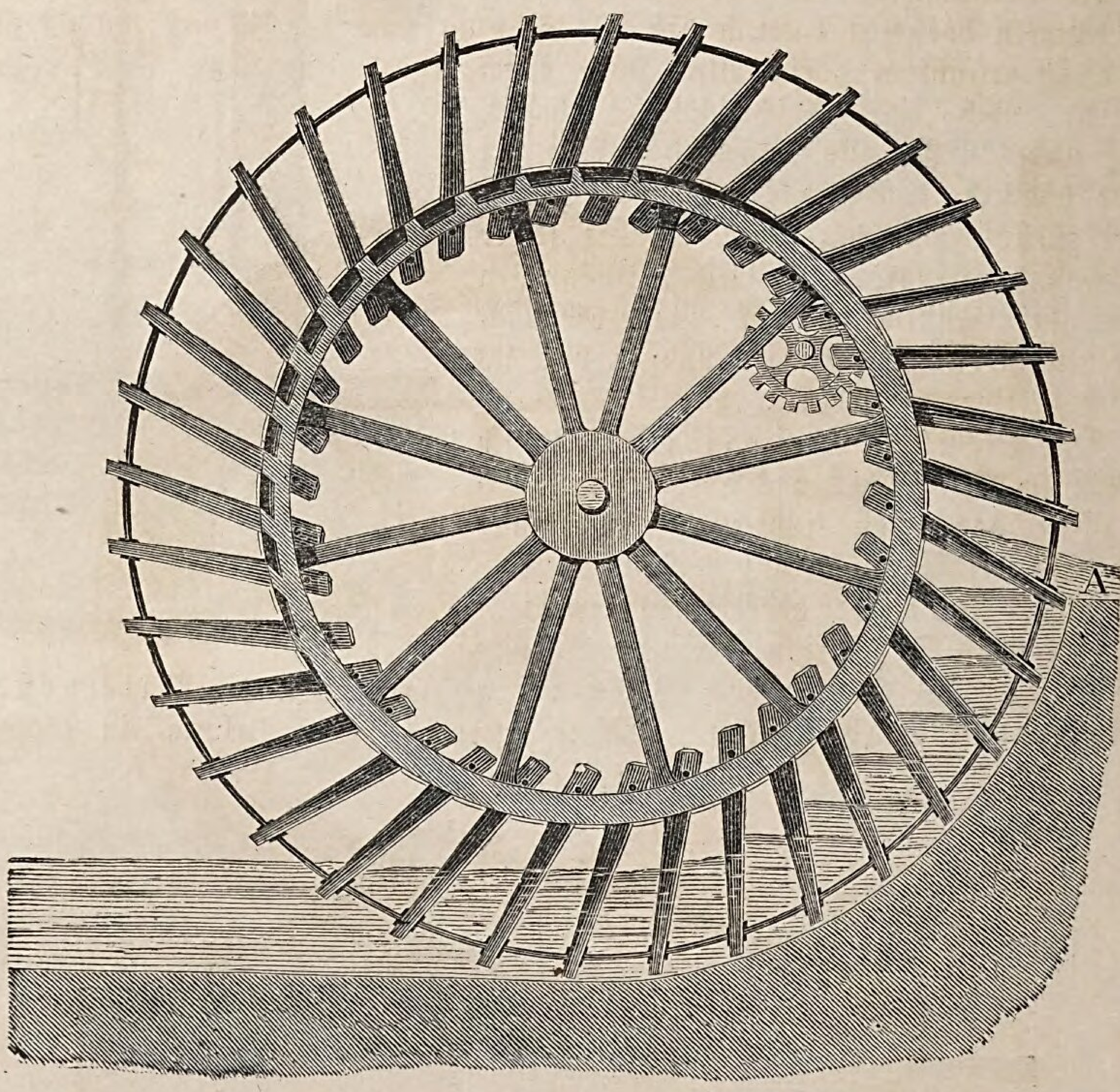
Fig. 156.



Seil, an welchem in gewissen Abständen lederne kugelförmige, mit Haaren 2c. ausgestopfte Ballen befestigt waren. Die Aehnlichkeit dieser Vorrichtung mit einem Rosenkranz verschaffte ihr den Namen. Fig. 155 zeigt den Apparat in

einer vortheilhaftern Construction. Er hat hier eine endlose Kette aus glatten Gliedern, an welcher in regelmäßigen Abständen runde oder je nach der Beschaffenheit des Rohres viereckige Scheiben so befestigt sind, daß die Kette durch die Mitte der Scheiben geht. Wird das Rad A in der entsprechenden Richtung gedreht, so dreht sich das unter Wasser liegende Rad B mit, die Kette geht äußerlich herab und im Innern des Rohres wieder hinauf. Die Dimensionen der Scheiben müssen so groß sein, daß sie die Hohlung des Rohres möglichst genau schließen, ohne jedoch eine beträchtliche Reibung hervorzubringen. So oft eine Scheibe in die untere, unter dem Wasserspiegel liegende Mündung

Fig. 157.



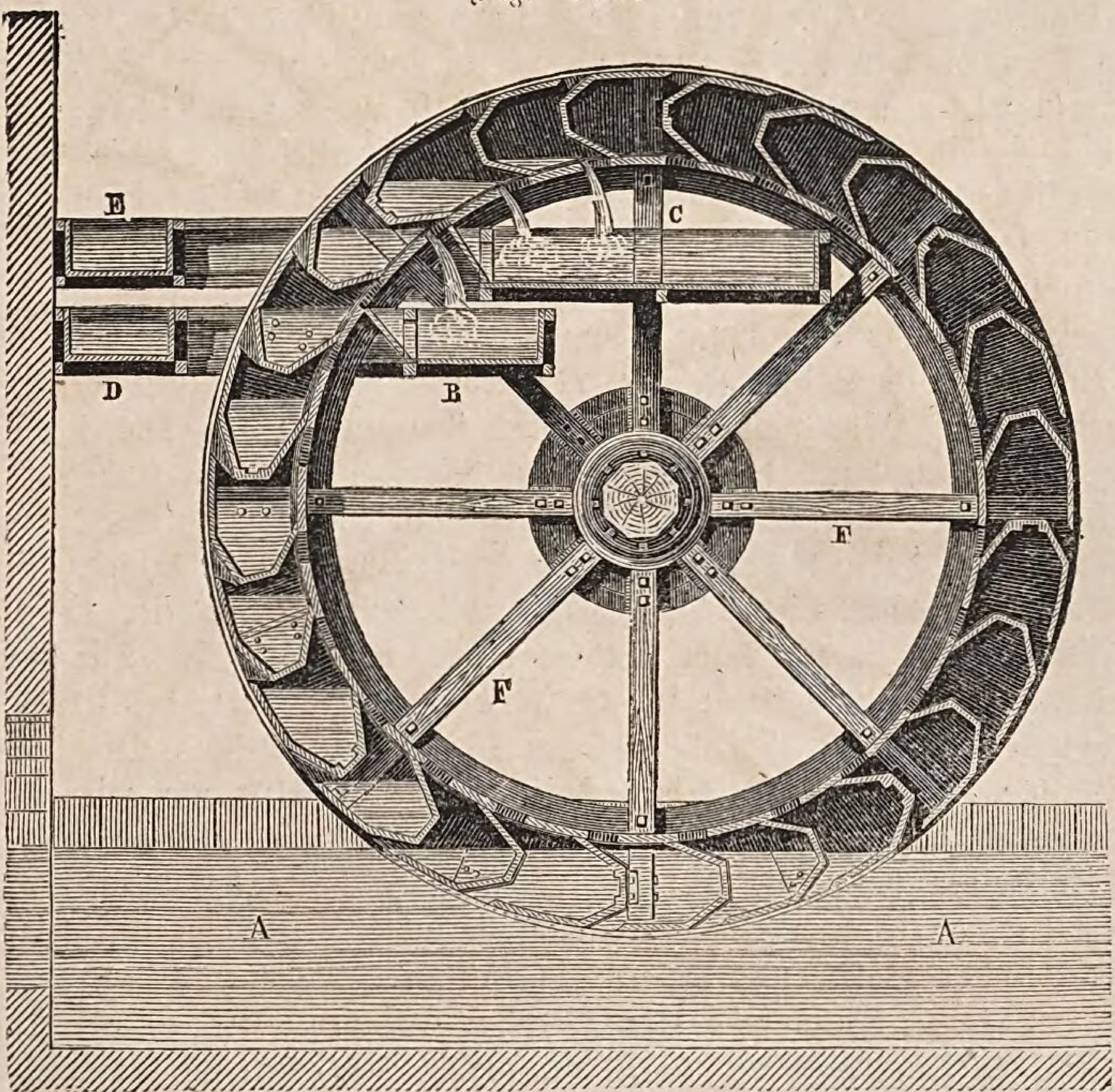
eintritt, isolirt sie einen Theil des darin stehenden Wassers und nimmt ihn mit nach oben, so weit er nicht zwischen den Scheiben und den Wandungen wieder nach unten entweicht.

Oft läßt man die Kettenpumpe nicht in senkrechter, sondern wie Fig. 156 zeigt, in schräger Lage wirken. Das Rohr kann dann oben offen sein, so daß nur ein rinnenförmiger Canal bleibt.

Besetzt man die Kette statt der Scheiben mit Eimern dergestalt, daß sie mit der Mündung nach unten herab- und in aufrechter Stellung gefüllt wieder aufsteigen, so erhält man einen ähnlichen gleichfalls gebräuchlichen Schöpfapparat, bei welchem natürlich ein besonderes Steigrohr nicht nöthig ist.

Die Schöpfräder können entweder mit geraden Schaufeln construirt werden, oder man giebt ihnen, was häufiger vorkommt, einen Kranz, welcher in entsprechend geformte Zellen abgetheilt ist. Bei der ersteren Art (Fig. 157) ist es natürlich erforderlich, daß diejenige Radseite, auf welcher der Hub geschehen soll, sich in einem gut schließenden Kreisgerinne ganz wie ein Kropfrad bewege. Das Wasser befindet sich demnach hier in Zellen eingeschlossen, welche der Boden und die Seitenwände des Kreisgerinnes mit den Schaufeln momentan bilden. Die letzteren haben eine etwas schräge Stellung, um den Abfluß des Wassers bei A zu erleichtern. Das Rad wird durch irgend eine Kraft in Bewegung

Fig. 158.



gesetzt, die mittelst eines Getriebes in eine Verzahnung am Kranze desselben eingreift. Ein theilweises Zurückfließen des Wassers zwischen den Schaufeln und Wandungen ist natürlich hier nicht zu vermeiden.

Durch ein Schöpfrad mit Zellen kann das Wasser auf eine größere Höhe gehoben werden. Fig. 158 stellt ein solches vor, das übrigens auch durch eine

besondere Kraft gedreht werden muß. Die Zellen füllen sich, wie man sieht, bei ihrem Durchgange durchs Wasser und leeren auf einer gewissen Höhe durch Oeffnungen, die nach der Innenseite des Rades zu angebracht sind, ihren Inhalt wieder aus. Da das Ausfließen nicht auf einmal erfolgen kann, so sind zwei übereinanderliegende Auffangekästen angebracht, welche demnach einen doppelten Abfluß von verschiedenem Niveau geben. Handelt es sich hierbei um eine Feld- oder Wiesenbewässerung, so kann der obere Wasserlauf nach höher, der untere nach tiefer gelegenen Flächen geleitet werden. Da der Kranz dieses Schöpfrades ein Stück über die Radarme heraussteht, so können die Auffangekästen B und C von beiden Seiten ins Innere des Rades hineingreifen, ohne seine Bewegung zu hindern.

Pumpen. Die Pumpen sind ebenfalls Wasserschöpf- oder Hebemaschinen, aber sie wirken in ganz anderer Weise wie die bisher beschriebenen, welche als bloße mechanische Vervielfältigungen gewöhnlicher Handschöpfgefäße angesehen werden konnten. Abgesehen von einigen kaum praktisch benutzten Constructionen sind die Pumpen entweder Saug- oder Druckpumpen, oder beides zugleich. Die ersteren wirken unter Zuhülfenahme des Luftdruckes und heben das Wasser aus der Tiefe bis zu einer beschränkten Höhe, während die letztern dem Wesen nach lediglich aus einem Rohr bestehen, in welchem das Wasser durch den Druck eines Kolbens fortbewegt wird. Sie treiben demnach das Wasser von unten nach oben und ihre Triebhöhe ist im Princip unbeschränkt.

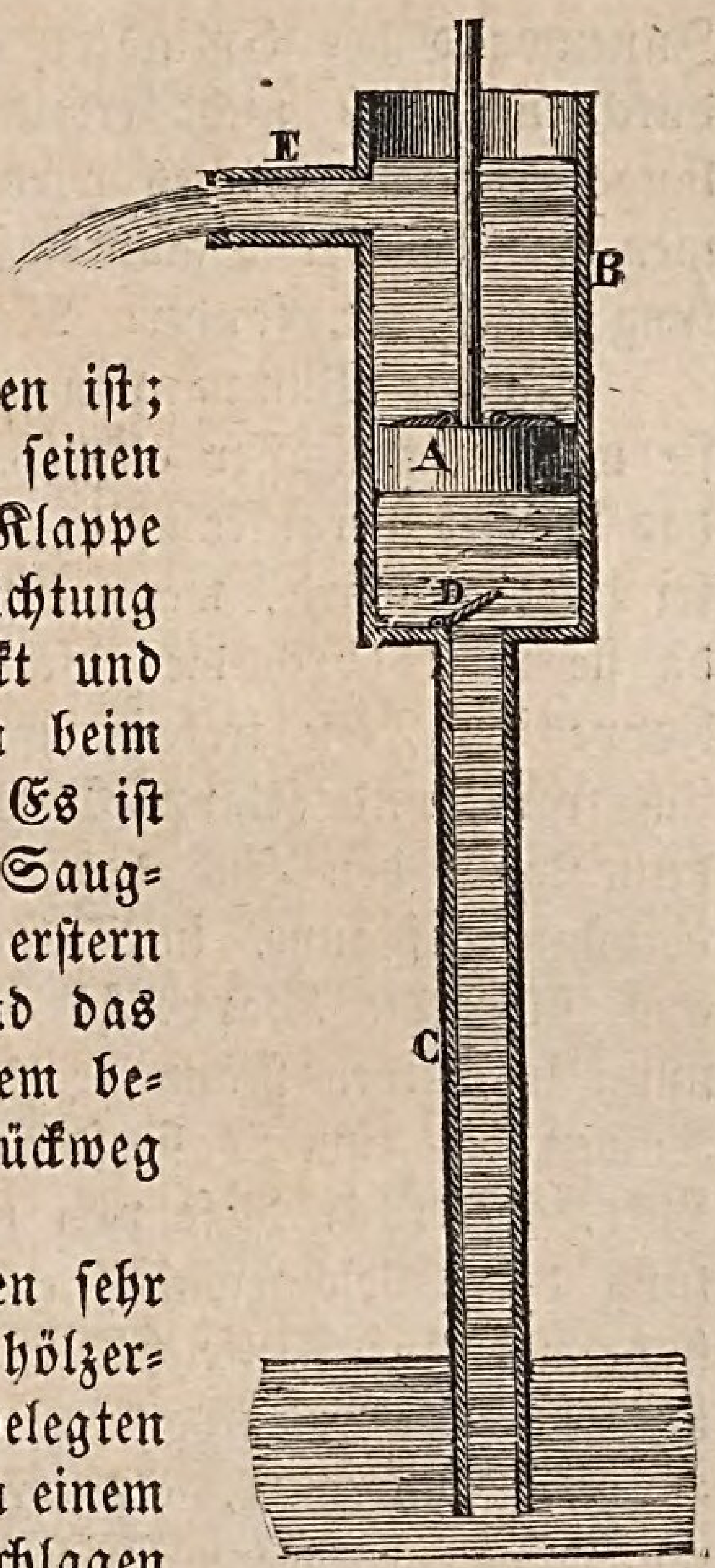
Denken wir uns eine lange Röhre mit einem völlig luftdichten Kolben mit dem untern Ende im Wasser stehend, den Kolben an der tiefsten Stelle. Wird der letztere in die Höhe gezogen, so folgt ihm unmittelbar das Wasser nach, da, wie wir wissen, durch den Kolben der Luftdruck von dem Röhrwasser abgesperrt ist, und der auf den äußern Wasserspiegel wirkende Luftdruck nun diesen zum Sinken, und dadurch das Wasser im Rohr zum Steigen bringt. Je höher der Kolben aufgezogen wird, desto schwieriger wird die Arbeit, denn um so mehr dringt Wasser in das Rohr, welches bewegt werden muß. Die zum Heben des Kolbens erforderliche Kraft ist, die Reibung abgerechnet, bei jedem Stande dem Gewichte der unter ihm befindlichen Wassersäule gleich. Die Mitwirkung des Luftdrucks liefert demnach keinen Kraftgewinn; er wirkt nur wie ein Maschinentheil, durch den die Kraft auf eine andere Stelle übertragen wird. Wird endlich der Kolben höher als 32 Fuß gezogen, so bleibt das Wasser auf dieser Grenze stehen, da es nun mit dem atmosphärischen Druck im Gleichgewicht ist. Es muß zwischen Wasser und Kolben ein luftleerer Raum entstehen, und da nun letzterer den ganzen Atmosphärendruck zu überwinden hat, so erfordert seine weitere Fortbewegung noch dieselbe Kraft, welche die ganze Wassersäule hob, obgleich diese nun stillsteht. Ganz ähnlich würde der Verlauf gewesen sein, wenn sich anfänglich zwischen Wasser und Kolben eine Partie Luft befunden hätte. Mit dem Steigen des Kolbens wäre alsbald eine Verdünnung dieser Luft eingetreten und der äußere Luftdruck hätte demzufolge auch die Wassersäule nachgeschoben.

Das Prinzip der Saugpumpe wäre mit dem gedachten Apparate versinnlicht, nur daß diese ihre Arbeit nicht in einem Zuge, sondern in kleinen Absätzen

verrichtet, und daß es nicht möglich ist ihr einen so vollkommen luftdichten Kolben zu geben um eine Hubhöhe von 32 Fuß zu erreichen. Man begnügt sich 24 Fuß und noch weniger.

An der Saugpumpe unterscheidet sich nun das Saugrohr C, und der sog. Stiefel B mit dem darin auf und absteigenden Kolben A. Am obern Ende des Steigrohrs befindet sich eine nach oben schlagende Klappe, und eine oder zwei derselben ganz ähnliche sitzen auf dem Kolben A und verdecken eben so viele durch denselben gehende Löcher. Hebt sich der Kolben, so schließen sich die auf ihm sitzenden Klappen und er wirkt wie ein solides Stück; er hebt das auf ihm stehende Wasser direct und das unter ihm befindliche dringt vermöge des Luftdrucks nach, indem es die auf dem Saugrohr sitzende Klappe D aufstößt, welche demnach geöffnet ist, so lange das Steigen des Kolbens dauert. Der Ausfluß einer gewissen Wassermenge durch das Ausgußrohr E ist die Folge jedes Hubes. In dem Moment wo der Kolben seinen Niedergang antritt, erfolgt ein allgemeines Sinken der ganzen Wassersäule, das jedoch nur momentan ist und nicht länger dauert als bis die Klappe D dadurch niedergedrückt worden ist; dann tritt Stillstand ein und der Kolben setzt nun seinen Niedergang fort, während das zwischen ihm und der Klappe D eingeschlossene Wasser, das nach keiner andern Richtung entweichen kann, die Klappe des Kolbens aufdrückt und durch dieselbe in den Raum über ihm strömt, um beim nächsten Hube vollends herausgeschafft zu werden. Es ist demnach, während die Kolbenklappe geschlossen ist, die Saugklappe geöffnet und umgekehrt, und die Function der erstern ist, das Niedergehen des Kolbens zu ermöglichen und das Wasser über ihn treten zu lassen, die der zweiten, dem bereits in der Pumpe befindlichen Wasser den Rückweg zu sperren.

Fig. 159.



Die an Pumpen gebräuchlichen Klappen können sehr verschiedene Formen haben. Bei den gewöhnlichen hölzernen Pumpen bestehen sie meist aus einer mit Leder belegten Metallplatte, die in einem Scharnier, zuweilen nur an einem aufgenagelten Lederstreifen hängt. Solche Klappen schlagen flach auf die Oeffnung auf, welche sie verschließen sollen. Bei den besser gearbeiteten Pumpwerken sind die Klappen und ihre Lager in Metall ausgedreht und sie erscheinen dann meist als Kegel- oder als Kugelventile. Das erste ist eine dicke Metallscheibe, deren Durchmesser nach unten zu abnimmt, so daß sie als ein aus einem Kegel geschnittenes Stück erscheint. Sie liegt genau passend auf der entsprechend geformten Mündung und verschließ diese vollständig. Der Zusammenhang des Ventils mit dem Ganzen wird nicht durch ein Scharnier, sondern durch ein Stäbchen vermittelt, das von seiner Mitte senkrecht nach unten

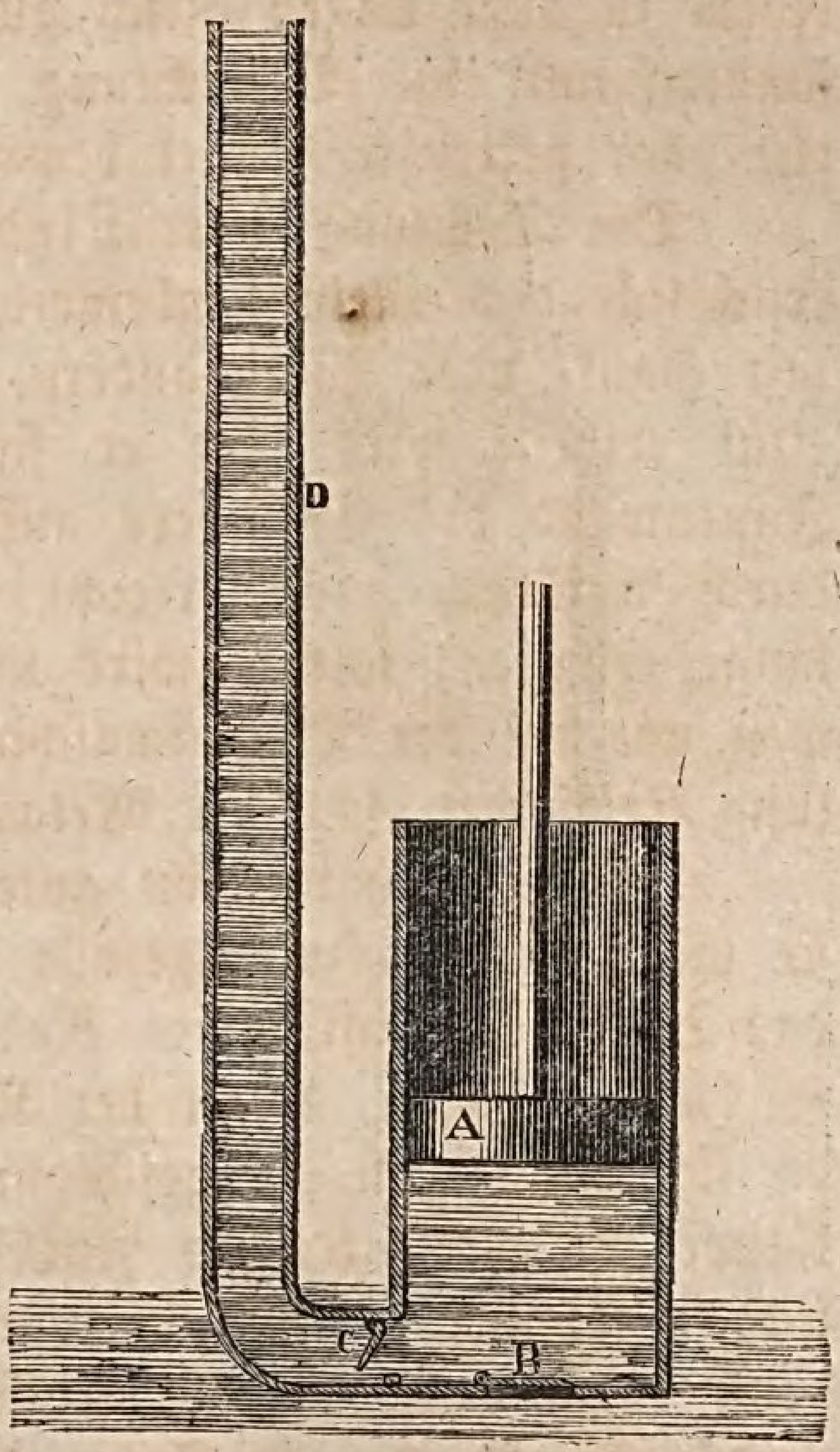
durch einen Bügel geht, der quer unterhalb der Mündung angebracht ist und in der Mitte eine Durchbohrung hat, in welcher das Stäbchen spielt. Letzteres hat an seinem untern Ende einen Knopf oder Aufhalter, der es verhindert höher zu steigen als erforderlich ist. Das Kugelventil besteht in einer recht regelmäßig gedrehten Metallkugel, die frei in ihrem Lager liegt, sich während der Steigung des Wassers hebt und nachgehends wieder zurückfällt. Da sie vermöge ihrer Form in allen Lagen gleich gut schließt, so bedarf sie keiner besondern Führung, sondern nur einer Vorrichtung, die sie an zu hohem Steigen hindert, was durch ein paar gekreuzte Bügel bewerkstelligt werden kann.

Die Dichtung oder Liederung des Kolbens, auf deren guten Schluß ersichtlich das Meiste ankommt, geschieht in mancherlei Weise, durch Umwickeln mit Hanf- oder Wergbändern, Leder u. dgl., so daß dem Kolben einige Elasticität ertheilt wird und er sich ohne zu große Reibung doch möglichst an die Innenwand des Cylinders anschließt. Ein völlig luftdichter Verschluß wird dadurch natürlich nicht erreicht oder bei der starken Abnutzung wenigstens nicht lange erhalten; solches wird nur möglich wenn Kolben und Stiefel so vollkommen wie bei der Dampfmaschine gearbeitet sind, wo gar keine Kolbenumwickelung stattfindet, sondern Metall auf Metall geht.

Ist die Pumpe von guter Beschaffenheit, so muß sie wirken, auch wenn sie nicht mit Wasser angefüllt ist. Sie agirt dann so lange als Luftpumpe, bis das Wasser heraufkommt. Nehmen wir an, die in Fig. 159 abgebildete Pumpe sei leer, so wird, wenn der Kolben niedergeht, die unter ihm befindliche Luft, da sie nicht durch die geschlossene Klappe D entweichen kann, durch die Kolbenklappe ins Freie treten; jetzt hebt sich der Kolben wieder, seine Klappe schließt sich sofort und Klappe D öffnet sich, ganz als wenn Wasser gehoben würde, denn durch den Hub des Kolbens entsteht zunächst zwischen A und D ein luftverdünnter Raum, in Folge dessen dehnt sich die Luft im Saugrohr C auch aus, stößt die Klappe D auf tritt so lange in den Oberraum, bis die Ausdehnung in beiden Räumen gleich ist. Da nun hiernach die ganze Luftsäule vom Kolben bis zum Wasserspiegel unter einem geringern Drucke steht als die äußere Luft, so drückt diese von unten alsbald so viel Wasser nach, als zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich. Das Wasser rückt so bei jedem Kolbenhube um eine Stufe höher, bis endlich alle Luft fortgeschafft ist und die Pumpe blos im Wasser arbeitet. Die gewöhnlichen Brunnenpumpen haben indeß viel zu viel Spielraum, als daß sie in dieser Art in Gang gesetzt werden könnten; man muß sie, wenn sie wasserleer sind, angießen, d. h. man gießt eine Quantität Wasser oben hinein und fängt sogleich zu pumpen an. Das Wasser bleibt wenigstens theilweise eine Zeitlang oberhalb des Kolbens und füllt die Lücken zwischen diesem und den Wandungen aus, und durch diesen zeitweiligen bessern Verschluß wird es thunlich die Pumpe in Gang zu setzen. Möge übrigens die Pumpe mit Luft oder Wasser gehen, so wird, wie leicht ersichtlich, dann nichts gefördert werden, wenn die Stöße so kurz sind, daß Kolben A und Klappe D sich ganz gleichzeitig heben und senken, denn erst das, was der Kolben nach geschlossener Klappe nach oben treten läßt, kann gehoben werden.

In der Druckpumpe (Fig. 160) arbeitet ein solider, undurchbrochener Kolben in einem Stiefel, der mit seinem untern Theile in dem freien Wasser selbst steht, aus welchem die Pumpe schöpfen soll. Der Eintritt des Wassers erfolgt durch die Klappe B; sie hebt sich wenn der Kolben sich zu heben anfängt und schließt sich wenn er seinen Niedergang antritt. Das eingesaugte Wasser, welches dem Drucke des Kolbens ausweichen muß, hat nun keinen andern Ausweg als durch die Klappe C. Diese bleibt während des Kolbenhubes geschlossen, da die Last der im Steigrohr D befindlichen Wassersäule sie zudrückt; beim Niedergange des Kolbens erfährt sie aber einen stärkern Druck von der andern Seite, öffnet sich daher und läßt das Wasser in das Steigrohr einströmen. Wie man sieht, arbeitet also bei dieser Einrichtung der Luftdruck noch einigermaßen mit; doch ist bei der geringen Höhe, auf welche das Wasser angesogen wird, für den Kolbenhub nur wenig Kraft erforderlich, sondern die Kraftäußerung erfolgt, im Gegensatz zu den Saugpumpen, vorzüglich beim Niedergange. Ein anderer wesentlicher Unterschied zwischen den Saug- und Druckpumpen besteht darin, daß durch letztere das Wasser auf jede beliebige Höhe geschafft werden kann, sofern man nur die Wandungen stark genug macht um den Druck auszuhalten und die auf den Kolben wirkende Kraft groß genug ist die Wassersäule zu heben.

Fig. 160.



Vergleichen wir den schon betrachteten hydraulischen Widder mit der Druckpumpe, so werden wir bei beiden ein ganz ähnliches Steigrohr mit der zugehörigen Klappe finden. Ebenso wird sich auch, was zuweilen geschieht, an der Druckpumpe ein Windkessel anbringen lassen, dessen Zweck und Nutzen wir bei jener Gelegenheit schon kennen lernten.

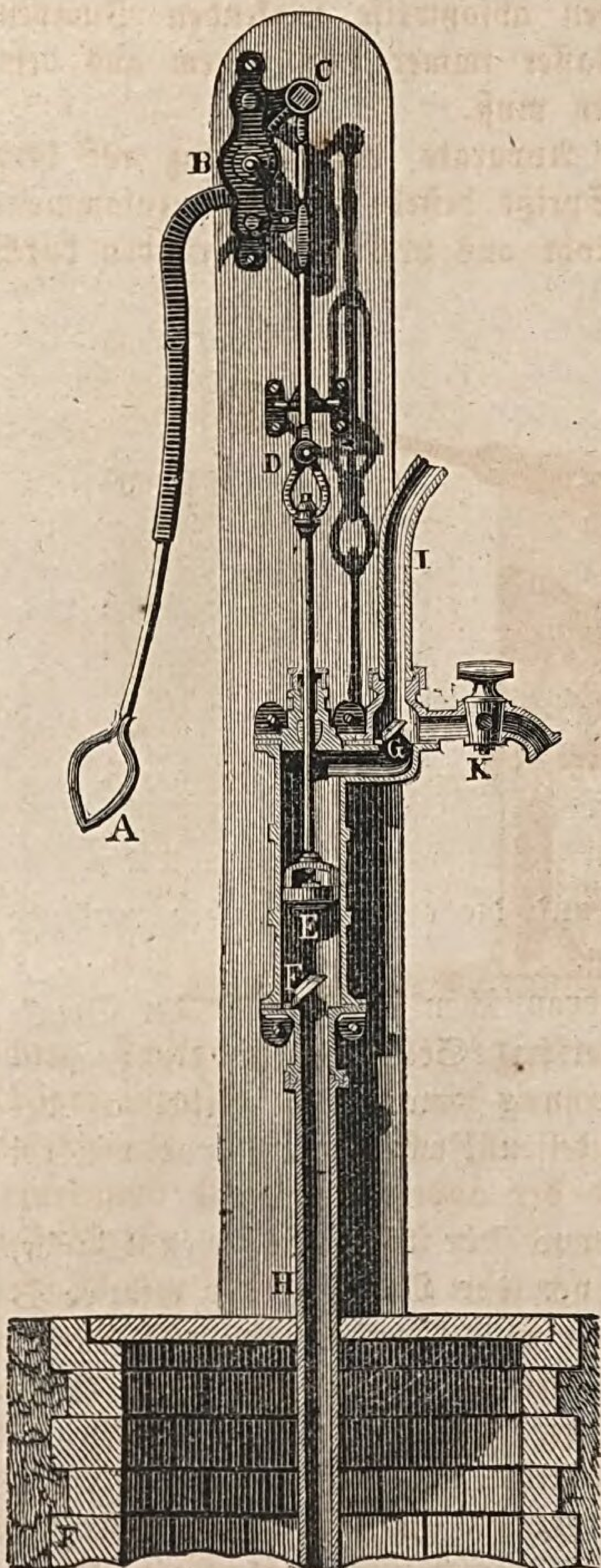
Nehmen wir an die vorliegende Druckpumpe stehe nicht im freien Wasser, sondern dieses liege tiefer und ein Rohr gehe von der Oeffnung der Klappe B bis in dasselbe herab, so haben wir eine Saug- und Druckpumpe zugleich, bei welcher der Kolben nach beiden Richtungen hin angestrengt wird, beim Hube um eine Quantität Wasser über die Klappe B zu bringen, und beim Niedergange um dieselbe seitwärts durch C hinauszudrücken.

Bei einem gewöhnlichen Brunnen steht der Pumpenstiefel meist nahe der Brunnenmündung und das Wasser wird lediglich durch Ansaugen heraufgeschafft. Hierbei darf aber, wie wir wissen, der Ausfluß nicht viel höher als 20 Fuß über dem Spiegel des Brunnens liegen; ist der Brunnen tiefer, so muß auch die Pumpe tiefer in demselben zu stehen kommen und ein Steigrohr nach oben

geführt werden. Die Pumpenstange geht dann ein größeres oder kleineres Stück frei in den Brunnen hinab und wird dann gewöhnlich durch eine Kurbelwelle mit Schwungrad in Bewegung gesetzt, die quer über dem Brunnen liegt.

Die untenstehende Figur giebt die Ansicht einer aus Metall construirten Pumpe, wie sie meistens an Brunnen zur Anwendung kommt. Der Schwengel A B C dreht sich um den Zapfen B, an dem kurzen Hebelarm C hängt vermittelst eines Gelenkes eine Zugstange C D, welche unten bei D mit der Kolbenstange, ebenfalls vermittelst Gelenk verbunden ist. Wird durch Niederdrücken des Schwengels A der Kolben E gehoben, so öffnen sich die zwei Klappen F und G und eine Quantität Wasser steigt durch das Rohr H in den Pumpenstiefel, während gleichzeitig das Wasser, welches sich bereits über dem Kolben befand, noch höher gehoben und durch die Klappe G in das Steigrohr hinaufgetrieben wird. Geht der Kolben nieder, so schließen sich die Klappen F und G, die des Kolbens öffnen sich und eine neue Quantität Wasser tritt über denselben. Der Kolben hat somit beim Aufgange nächst der Reibung das Gewicht der ganzen Wassersäule zu überwinden, welche vom Brunnenspiegel bis zur Mündung des Steigrohres reicht, beim Niedergange dagegen nur die Reibung, die theils zwischen den festen Theilen, theils zwischen dem Kolben und dem durch seine Klappe strömenden Wasser stattfindet. Mündete das Steigrohr mit seiner Klappe zwischen E und F in den Stiefel, wie wir weiter oben annahmen, so dürfte der Kolben E keine Klappe haben und er würde dann beim Aufgange saugen, beim Niedergange drücken; so aber ist die ganze Arbeit in den Aufgang des Kolbens, folglich in den Niederdruck des Schwengels gelegt, und zwar mit Recht, da nur in dieser Richtung, nicht von unten nach oben, die Muskelkraft bequem und vortheilhaft zu verwenden ist. Oeffnet man den Hahn K, so fließt alles gehobene Wasser hier ab und die Pumpe ist nun eine gewöhnliche Saugpumpe, die mit viel geringerer Kraft in Gang gesetzt werden kann.

Fig. 161.

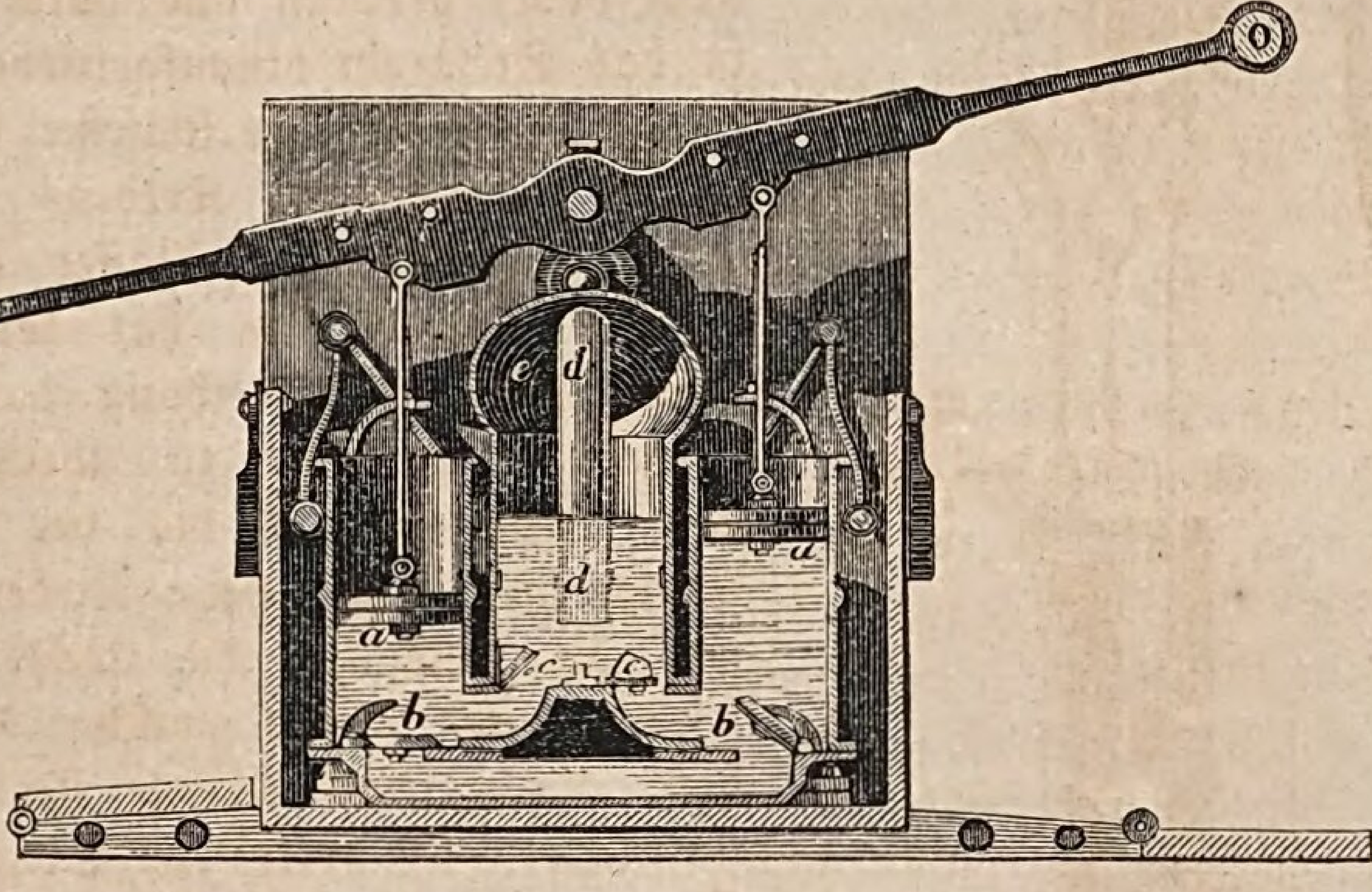


Es giebt auch doppeltwirkende Saug- und Druckpumpen, in denen 4 Klappen

dergestalt thätig sind, daß sowohl beim Auf- als beim Niedergange des Kolbens fortwährend Wasser gehoben und fortgepreßt wird. Sie geben daher die doppelte Menge Wasser aus, erfordern aber natürlich auch die doppelte Kraft, ganz so als wenn man die Weite des Stiefels und den Durchmesser des Kolbens verdoppelt hätte. Ihr Vortheil gegen diese Vergrößerung des Apparates besteht aber darin, daß das Wasser aus ihnen nicht nur continuirlich fließt, sondern daß es auch im Innern in beständiger Bewegung ist, und hierdurch wird ein Theil der Arbeitskraft erspart, welcher bei den absatzweise wirkenden Pumpen dadurch verloren geht, daß in ihnen das Wasser immer von neuem aus dem ruhenden Zustande in Bewegung gesetzt werden muß.

Feuerspritze. Die Wirkung dieses Apparats beruht ganz auf dem System der Druckpumpe oder vielmehr die Spritze besteht aus zwei zusammenwirkenden Druckpumpen, bei denen das Steigrohr aus praktischen Gründen durch

Fig. 162.



einen biegsamen Schlauch ersetzt ist. Die Feuerspritze soll einen möglichst gleichmäßigen Strahl auf eine möglichst große Entfernung hin treiben. Hieraus ergiebt sich zunächst die Nothwendigkeit zweier Stiefel und Kolben, die abwechselnd wirken, so daß der eine niederdrückt, während der andere steigt und umgekehrt. Die Pumpen stehen in einem Kasten, der während der Arbeit fleißig mit Wasser zu versorgen ist. Steigt ein Kolben, so öffnet sich seine Unterklappe b und Wasser aus dem Kasten füllt den Stiefel; währenddem ist der andere Kolben niedergegangen und hat, weil seine Unterklappe sich sofort schloß, das unter ihm befindliche Wasser durch die Klappe c in den zwischen beiden Stiefeln liegenden Behälter getrieben. Letzterer erhält also fortwährend von beiden Seiten Wasser zugepumpt. Wäre dieser mittlere Theil ein simples Steigrohr, so würde das Wasser trotz der Wirkung zweier Kolben dasselbe immer noch stoßweise verlassen; so aber bildet sein oberer Theil einen gewölbten Hohlraum, in welchem eine Quantität Luft eingesperrt ist, und der Behälter bildet sonach einen Windkessel, wie wir einen solchem wiederholt schon begegnet sind. Indem nun durch das

Spiel der beiden Kolben immer mehr Wasser in den mittlern Behälter gepumpt und dessen Spiegel beständig erhöht wird, wird die darüber befindliche Luft auf einen immer kleinern Raum zusammengedrängt und der Druck, den sie auf das Wasser unter ihr ausübt, wird demgemäß immer größer. Dieser Druck treibt nun das Wasser mit großer Gewalt in dem Steigrohr d in die Höhe, das bis nahe an den Boden des Behälters reicht und sich oben in die horizontale Richtung umkrümmt. An das obere Ende dieses Rohres wird dann der Spritzenschlauch angeschraubt, wenn nicht das Rohr d ganz weggelassen ist und statt dessen ein Rohr mit Hahn gleich unten über dem Boden der Wasserkammer direct ins Freie mündet. In diesem Falle wird der Schlauch hier angebracht. Der Weg, der dem Wasser durch den Schlauch hin offen steht, ist immer viel geräumiger als der Ausfluß am Ende durch das metallne Spritzrohr. Indem das Wasser sich durch diesen engen Ausgang drängen muß, erlangt es erst den Grad von Geschwindigkeit, den es außerhalb zeigt, während es im Schlauche selbst viel langsamer vorrückt. Diese Einrichtung hat den Vortheil, daß so viel Reibung erspart wird, welche das Wasser erleiden würde, wenn es sich in einem engern Canale mit größerer Geschwindigkeit bewegen müßte.

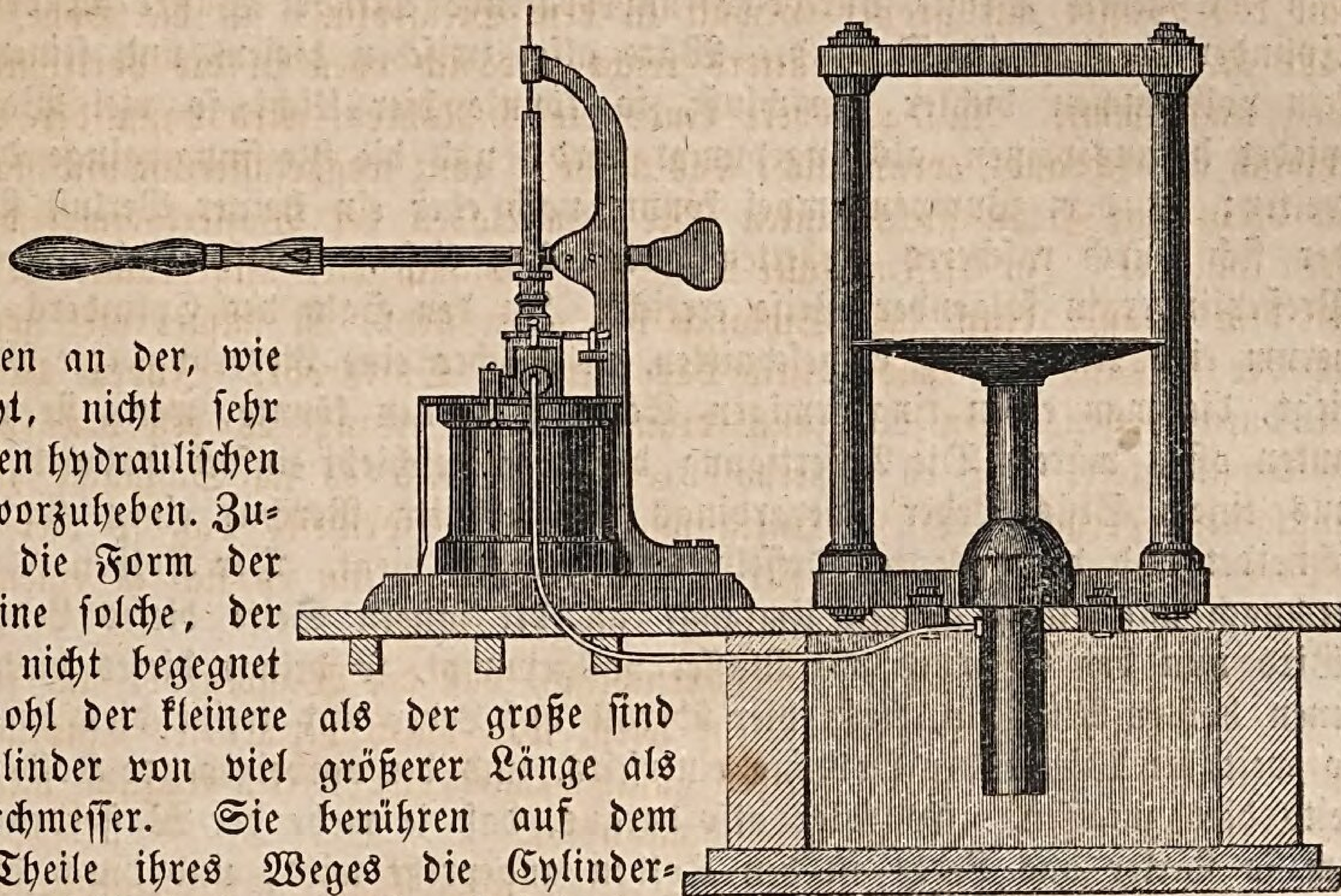
Aus dieser Einrichtung wird ersichtlich, daß der Wasserstrahl um so weiter reicht, je rascher die Spritze bedient wird, weil durch vermehrtes Einpumpen die Luft im Windkessel immer stärker zusammengedrückt wird, folglich mit immer größerer Federkraft das Wasser hinaustreibt.

Die hydraulische Presse. Diese interessante und vielgebrauchte Maschine, nach ihrem Erfinder auch Brahmapresse genannt, wird weder vom Wasser getrieben, noch dient sie zur Wasserförderung, sondern das in ihr enthaltene Wasser (oder auch Oel) gehört recht eigentlich zur Maschine selbst und dient als Hebel zur Erzeugung eines großen Druckes auf kleinem Raume. Man sieht demnach daß die Bezeichnung hydraulisch in mehrfacher Art gebraucht wird.

Das Prinzip, auf welchem die hydraulische Presse beruht, haben wir schon S. 30 kennen gelernt. Wir können demnach hier gleich an die Beschreibung ihrer Theile gehen, indem wir zum leichtern Verständniß eine Gesammtansicht der Maschine und der innern Theile wegen einen Durchschnitt geben. Ein sehr fester Cylinder A umgiebt einen Kolben B, auf welchen vermittelst des Wassers ein ungeheurer Druck von unten nach oben ausgeübt werden kann. Auf dem Kopfe des Kolbens ist eine Platte befestigt, die sich zwischen zwei oder bei stärkeren Pressen vier Säulen aufwärts schiebt und den zu pressenden Gegenstand an die obere festliegende Preßplatte andrückt. Das Wasser wird in den Cylinder mittelst der daneben befindlichen Pumpe eingetrieben, welche durch Auf- und Niederbewegen des horizontalen Hebels in Gang gesetzt wird. I (Fig. 164) ist der Kolben der Pumpe, deren Stange vermittelst einer kleinen Gelenkstange an dem Hebel hängt. Der bessern Führung der Kolbenstange halber spielt ihr oberes Ende in einer Hülse. Bei jedem Kolbenhube tritt etwas Wasser aus dem unter der Pumpe befindlichen Behälter in dieselbe, um beim Niedergange durch das Rohr L in den Cylinder A gepreßt zu werden. Daß zu dieser Einrichtung zwei wechselsweise sich öffnende und schließende Ventile gehören,

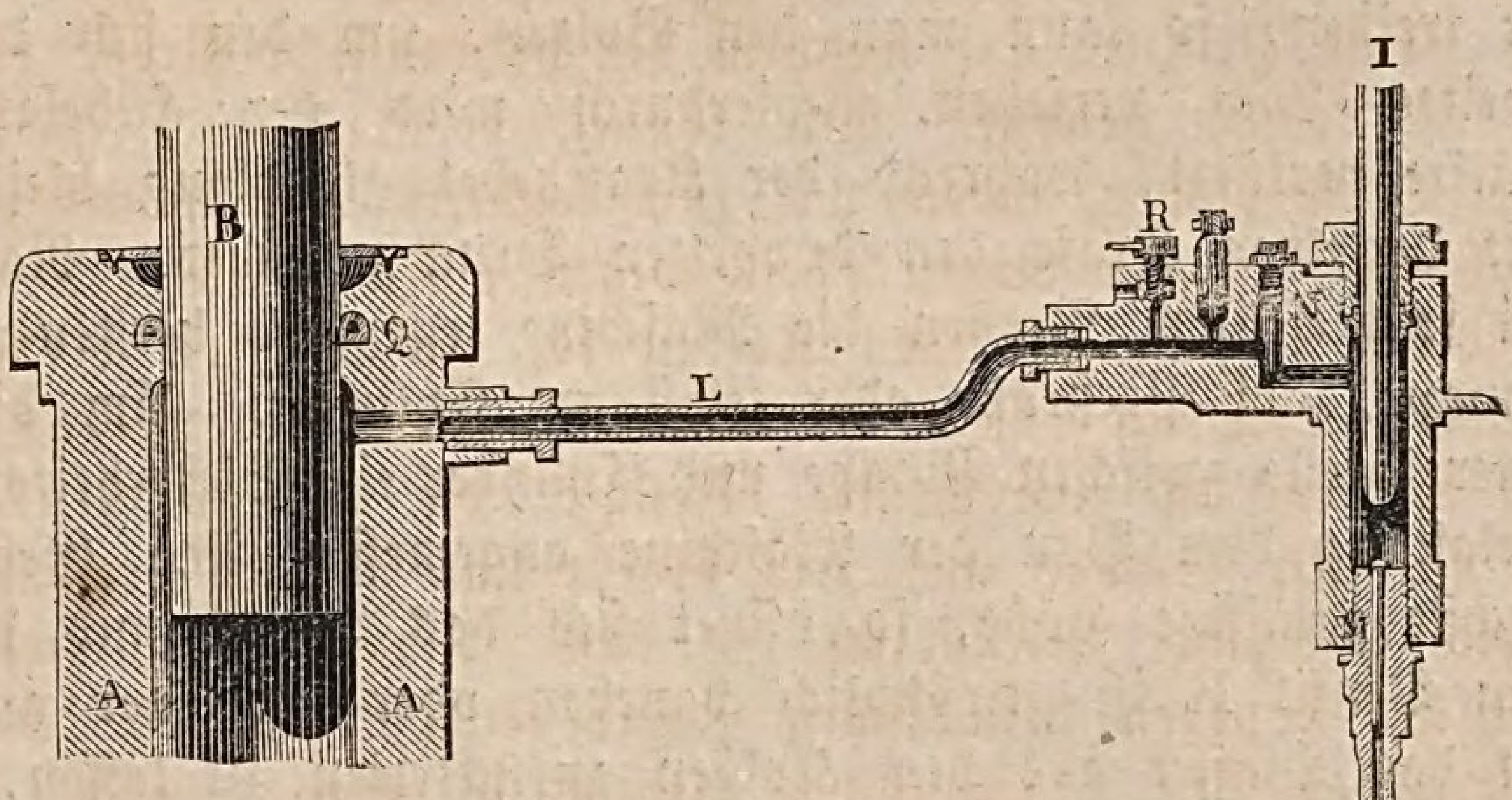
deren eines unter dem Kolben M, das andere am Anfange des Leitrohres etwa unter N liegen muß, kann nach dem, was wir bereits über das Wesen der Pumpen wissen, nicht mehr zweifelhaft sein. Es sind aber noch einige andere

Fig. 163.



Einzelheiten an der, wie man sieht, nicht sehr complicirten hydraulischen Presse hervorzuheben. Zunächst ist die Form der Kolben eine solche, der wir noch nicht begegnet sind; sowohl der kleinere als der große sind glatte Cylinder von viel größerer Länge als ihre Durchmesser. Sie berühren auf dem größten Theile ihres Weges die Cylinderwände gar nicht, sondern tauchen frei in das sie umgebende Wasser. Es ist indeß leicht ersichtlich, daß ihre Wirkung, bei verminderter Reibung, ganz dieselbe sein müsse als bei gewöhnlichen Kolben, sobald dafür gesorgt ist, daß der Hals der Cylinder sie recht wasserdicht umschließe; denn unter dieser Voraussetzung ist es gleichgültig, welche Form die freiliegenden Theile haben; immer wird der steigende Kolben den Raum zwischen sich und dem Ventil vergrößern, also Wasser saugen, der niedergehende ihn verkleinern, daher Wasser hinauspressen. Erinnern wir uns ferner daran, wie eingeschlossene Flüssigkeiten den Druck auf ihre Wandungen allseitig gleichmäßig fortpflanzen, so kann es auch nicht auffallen, daß das Wasser nicht **unter** dem großen Stempel eingeführt wird. Der Wasserdruck auf seine untere Fläche ist immer derselbe wie

Fig. 164.



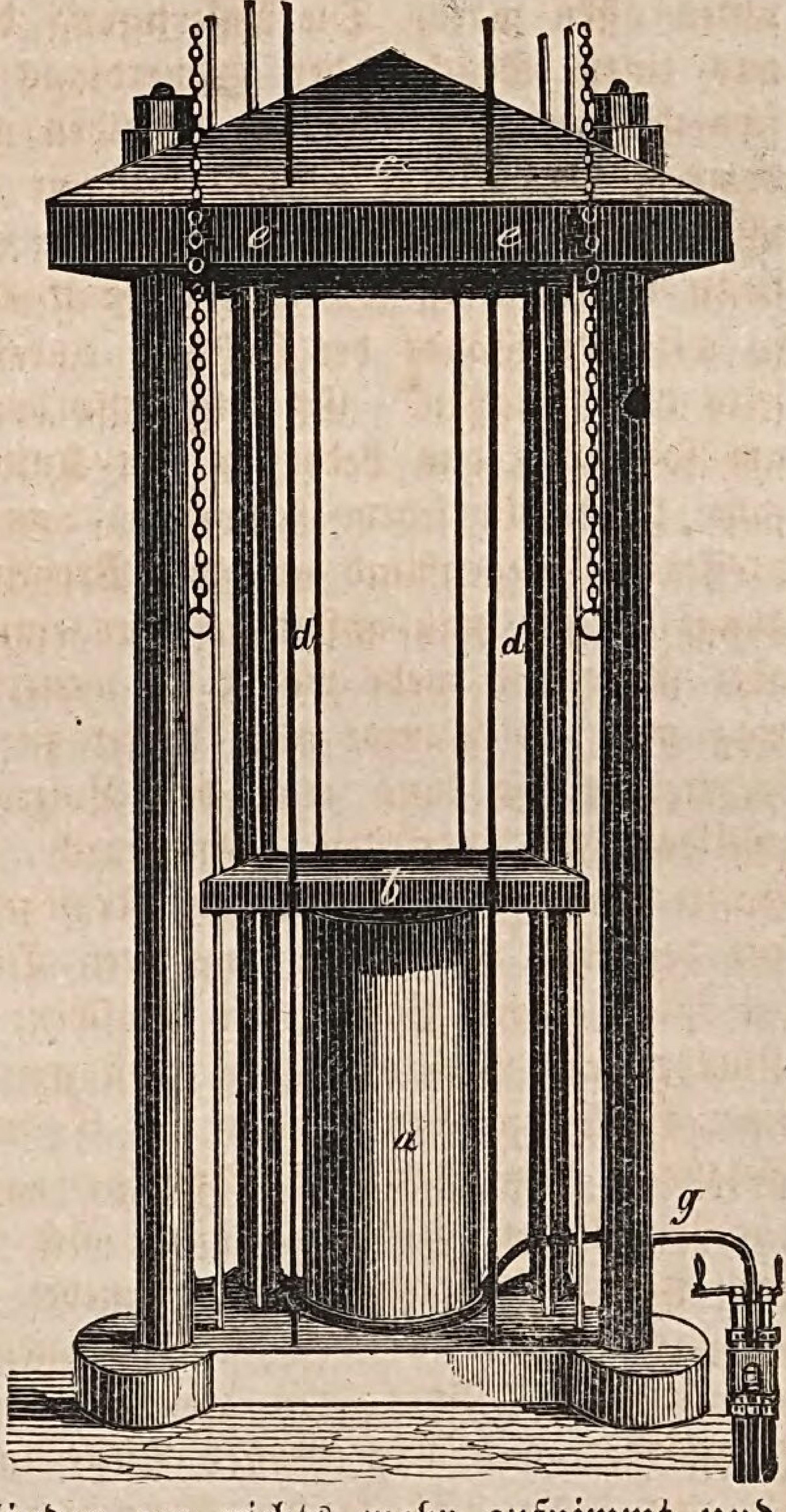
auf alle übrigen Theile des Hohlraumes, das Wasser möge eindringen an welcher Stelle es wolle.

Der Druckpumpenstempel hat nur einen geringen Durchmesser (1 — 3 Zoll) und das Zuführrohr ist nicht weiter als $^1/_4$ — $^3/_4$ Zoll. Hieraus geht hervor, daß mit jedem Drucke nur eine unbedeutende Menge Wasser in den großen Cylinder herübergeschafft wird. Wäre also zwischen diesem und seinem Kolben kein vollkommen dichter Verschluß, so könnte hier leicht so viel Wasser oben wieder herausspritzen, als zugepumpt wird, und die Pressung ginge dann nicht weiter; an dem Pumpenstempel könnte noch eher ein kleiner Verlust stattfinden, der sich durch rascheres Arbeiten ausgleichen ließe. Diese Dichtung wird am Preßcylinder in folgender Weise erreicht. In den Hals des Cylinders ist rings-herum eine Auskehlung eingeschnitten, in welcher eine Liederung (die Manschette) liegt, die man einen ringförmigen Schlauch nennen könnte, wenn sie nicht nach unten offen wäre. Die Anfertigung derselben geschieht einfach dadurch, daß man aus einem Stück Leder (neuerdings auch Gutta Percha) einen flachen Ring schneidet und beide Kanten desselben nach unten biegt. Der Kolben A reibt sich demnach auf seinem ganzen Umfange an der innern Seite dieses Lederkragens. Wird nun der Cylinder mit Wasser vollgepumpt, so dringt dieses bald auch in jenen hohlen Ring ein, stößt hier überall auf Leder und treibt dies auseinander, so weit die Wände der Hohlung einerseits, und der vorbeigehende Kolben andrer-seits dies zulassen. Es folgt also daraus, daß je mehr der Wasserdruck wächst, um so stärker das Leder an den Kolben angepreßt wird, und durch dieses ein-fache Mittel ist jedem Entweichen von Wasser vorgebeugt. — Hat man den zu pressenden Gegenstand auf den Preßtisch gelegt und setzt die Pumpe in Bewe-gung, so hat man anfänglich nur einen geringen Widerstand zu überwinden, der aber mehr und mehr wächst, je weiter die Zusammenpressung vorschreitet. Ver-mag man die Pumpe nicht weiter zu regieren, und will doch die Pressung wei-ter treiben, so kann man den Bolzen, um den sich der Hebel dreht, in ein zweites Loch versetzen. Hierdurch wird der Hebelarm der Last um die Hälfte verkürzt, während der Krafthebel gleichlang bleibt und man kann nun mit derselben Kraft den doppelten Druck ausüben. Natürlich würde schließlich bei fortgesetztem Pressen die Maschine irgendwo bersten müssen, sei es an der Pumpe, am Preßrohr oder selbst am Cylinder. Um dies zu vermeiden ist an einer Stelle zwischen Pumpe und Cylinder ein Sicherheitsventil angebracht, dessen Belastung dem Bau der Maschine angemessen ist. Geht der Druck über die höchste zulässige Höhe, so öffnet sich das Ventil und das Wasser spritzt aus. Ein Ventil R ist gewöhnlich daneben oder an einer andern Stelle vorhanden, um das Wasser aus dem Kolben zurücktreten zu lassen, wenn der Druck auf-hören soll. Oeffnet man diesen Ausgang, so sinkt der Kolben A mit seiner Last nieder und das Wasser fließt in den Behälter unter der Pumpe zurück. Da die innern Theile der Maschine so fein gearbeitet sein müssen, daß schon ein Sandkorn eine Störung verursachen könnte, so muß auch für Reinhaltung des benutzten Wassers gesorgt sein. Es befindet sich daher unter der Pumpe ein feiner Durchschlag, durch welchen das aufgesaugte Wasser hindurch muß.

Vermöge der uns bekannten hydrostatischen und Hebelgesetze läßt sich nun die Kraftwirkung an der hydraulischen Presse leicht berechnen. Gesetzt es wirke auf den Hebel eine Kraft von 50 Pfund; die Hebellänge bis zum Stützpunkt sei 30 Zoll, der Anhängepunkt der Kolbenstange vom Stützpunkte 3 Zoll entfernt, so wirkt auf letztere die Kraft von 500 Pfund. Es betrage nun der Durchmesser des Pumpenkolbens nur ein Zwanzigstel von dem des großen Kolbens, so daß demnach die Querschnittfläche des letztern 400 mal größer ist, so wird unter diesen Umständen mit der Presse eine Kraft von 200,000 Pfund ausgeübt.

Indeß ist eine noch höhere Steigerung des Druckes nicht allein möglich, sondern auch in manchen Fällen erforderlich. In Zuckerfabriken namentlich wendet man zum Auspressen des Rübensaftes Pressen an, welche mit einem Druck von 6—800,000 Pfund auf eine Preßfläche von etwa 18 Zoll Länge und Breite (324 Quadratzoll) wirken. Hier werden die Pumpen allerdings nicht mehr durch Menschenhand, sondern durch die Dampfmaschine getrieben. Wir geben auch noch die Ansicht einer solchen größern Presse. Hier wiegt der Preßkolben nebst Preßtisch allein schon gegen 20 Centner und diese Last wird durch den zwischen Blechen auf den Tisch geschichteten Rübenbrei um noch beiläufig 10 Centner vermehrt. Diese Last gilt es nicht allein zu heben, sondern mit einer solchen Gewalt gegen die Deckplatte der Presse zu drücken, daß 4/5 der Rübenmasse als Saft abläuft. Der raschern Arbeit halber haben solche Pressen zwei und drei Pumpen, die eine größer, die andern, die hauptsächlich gegen das Ende der Pressung mitwirken, mit besonders schwachen Kolben. Da gewöhnlich mehrere Pressen in Betrieb stehen, so sind die Preßröhren nach jeder einzelnen hin abgezweigt, so daß die Pumpen bald die eine, bald die andere speisen. Natürlich muß jedes einzelne Rohr sein Sicherheitsventil haben und die Pressung wird meist so lange fortgesetzt, bis der Preßcylinder gar nichts mehr aufnimmt und das Sicherheitsventil aufgetrieben wird.

Fig. 165.



Um den Preßkuchen in seiner Lage zu erhalten und sein senkrechtes Aufsteigen zu sichern, sind Leitstangen d d angebracht, die indeß auch durch andere

Vorrichtungen ersetzt sein können. Die zwei vordersten sind an Ketten aufziehbar, um beim Einsetzen der Rübenmasse nicht hinderlich zu sein, und werden erst nach der Hand herabgelassen.

Die Dampfmaschine.

Der werthvollste Motor war früher das Wasser in flüssiger, jetzt dasselbe Element in dampfförmiger Form. Obwohl die Versuche, die elastische Kraft der Wasserdämpfe für mechanische Arbeit nutzbar zu machen, ziemlich weit zurückreichen, so konnte doch die Dampfmaschine erst zur Ausbildung gelangen, nachdem die hier einschlägigen physikalischen Gesetze genauer erforscht waren.

Bekanntlich verdampft das Wasser bei jeder Temperatur, selbst als Eis, freiwillig an der Luft. In ein Gefäß eingeschlossenes Wasser verdampft ebenso, wenn noch Raum über ihm befindlich, und zwar so lange, bis sich soviel Dampf entwickelt hat, daß der Raum keinen mehr fassen kann; der Dampf hat dann seine größte Spannung erreicht, der Raum ist, wie man sagt, gesättigt. Dieser Sättigungs- und Spannungsgrad hängt aber lediglich von dem vorhandenen Temperaturgrade ab. Der Umstand, ob der Raum luftleer oder mit Luft gefüllt ist, hat nun auf die Schnelligkeit der Dampfbildung Einfluß. Ein luftleerer Raum wird selbst von kaltem Wasser schnell mit Dampf gefüllt; ist schon Luft vorhanden, so erfolgt die Sättigung mit Dampf weit langsamer, da die Dampftheilchen sich nur allmälig zwischen die Lufttheilchen einschieben können. Bei niedern Temperaturen erfolgt die Verdampfung nur von der Oberfläche aus; wird aber die Flüssigkeit bis zum Sieden erhitzt, so erfolgt die Dampfbildung in der ganzen Masse und der erzeugte Dampf hat bei dieser Temperatur soviel Spannkraft, daß er bei seinem Austreten nicht nöthig hat, sich in einzelnen Theilchen der Luft einzuverleiben, sondern er verdrängt dieselbe gänzlich und nimmt ihre Stelle ein. Er besitzt demnach die Kraft einer Atmosphäre. Dies ist aber auch alles, was bei offenem Sieden erreicht werden kann; jede noch so starke Zuführung von Hitze bewirkt nur eine raschere Dampfbildung, ohne daß die Dampfspannung stärker würde oder die Hitze des Wassers über den Siedepunkt stiege. In einem geschlossenen Gefäß aber muß die Sache nothwendig einen andern Verlauf nehmen.

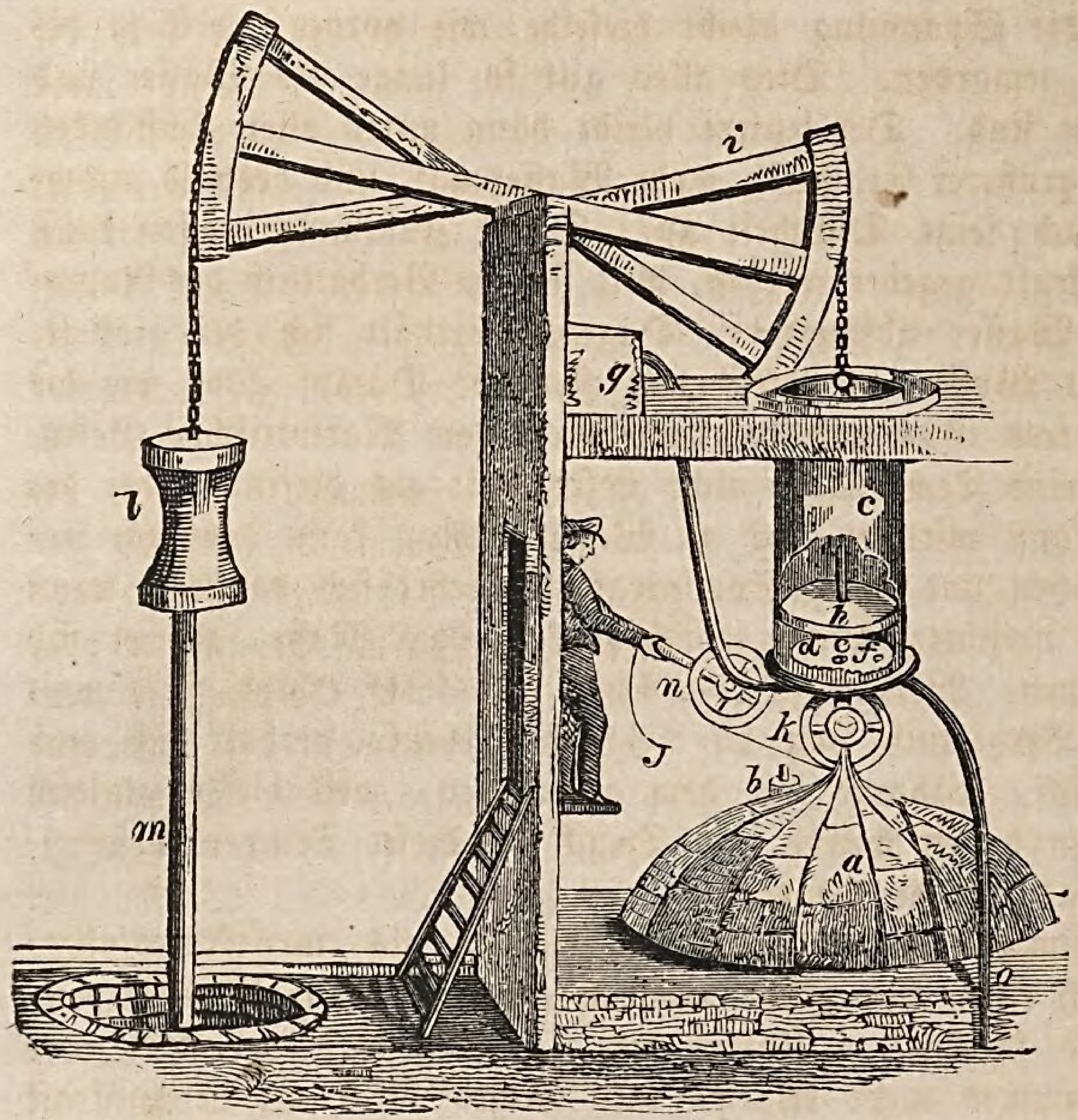
Der Siedepunkt einer Flüssigkeit richtet sich nicht allein nach der Natur derselben, sondern auch nach dem Widerstande, den die gebildeten Dämpfe zu überwinden haben, um frei zu werden. Daher siedet Wasser auf hohen Bergen bei einem geringern Hitzegrade, weil dort der Luftdruck geringer ist. Daraus läßt sich entnehmen, daß wenn die Widerstände nicht verringert, sondern vermehrt werden, auch eine stärkere als die gewöhnliche Erhitzung nöthig sein wird, um das Sieden, die Dampferzeugung zu bewirken. Es befinde sich in einem Dampfkessel Wasser und Dampf von 1 Atmosphäre Spannung: beide, Wasser und Dampf, da letzterer nie heißer sein kann als das Wasser, aus dem er sich entwickelt, haben in diesem Fall die gewöhnliche Siedhitze, 100 Grad des 100theiligen Thermometers. Der Dampfraum ist gesättigt, denn er hat so viel Dampf gefaßt als er überhaupt bei 100 Grad fassen kann. Hat nun der Dampf keinen

oder einen nicht genügenden Ausweg, so kann bei fortgesetzter Heizung dieser Zustand nicht andauern. Es muß nun das Wasser zunächst heißer werden als 100 Grad, um noch mehr Dampf zu erzeugen; das heißere Wasser giebt nun auch stärker gespannte Dämpfe aus, denn diese könnten gar nicht auftreten, wenn sie nicht den schon vorhandenen Druck zu überwinden vermöchten. Der schon vorhandene Dampf muß nun den Raum mit dem neugebildeten theilen und die Spannung wächst dadurch, bis wieder Sättigung eintritt und kein Dampf mehr gebildet wird, es sei denn daß die Heizung abermals gesteigert würde. Diese Steigerung der Dampfspannung tritt sehr rasch ein; sie ist, wie gesagt, bei einer Hitze im Kessel von 100° 1 Atmosphäre, bei 120° schon 2, bei 144° Grad 4, bei 200° Grad 16 Atmospären. Erinnern wir uns daß der Druck 1 Atmosphäre auf den Quadratzoll 14 Pfund beträgt, und nehmen diesen Druck 4, 8, 16fach, so wird es begreiflich, welcher Kraftäußerung der eingesperrte Dampf fähig ist.

Um einen Kessel voll Schnee zu eiskaltem Wasser zu schmelzen bedarf es bekanntlich eines großen Aufwandes von Wärme. Diese Wärme diente blos zur Formveränderung des Schnees und ist im Wasser für das Gefühl und das Thermometer nicht mehr vorhanden. Man nennt diese Wärme gebundene oder latente. In ganz gleicher Weise wird wieder eine große Menge Wärme verbraucht, wenn Wasser in Dampf verwandelt werden soll, obwohl die Temperatur beider gleich ist. Die latente Wärme wird jedoch wieder frei, so wie der Dampf wieder zu Wasser wird. Sperren wir Dampf von 100° in ein Gefäß, das einen Raumgehalt von 1700 Kubikzoll haben mag und dessen Wandungen die gleiche Temperatur haben, so wird, wenn wir auf geeignete Weise $5^1/_2$ Kubikzoll eiskaltes Wasser in das Gefäß bringen, der Dampf augenblicklich seine Spannung verlieren und zu heißem Wasser werden, während seine latente Wärme an das kalte Wasser tritt und auch dieses bis auf 100° erhitzt. Das Resultat sind $6^1/_2$ Kubikzoll Wasser von 100°. Die gebundene Wärme des Dampfes war also nicht verloren, denn um 1 Kubikzoll Wasser völlig in Dampf zu verwandeln oder $6^1/_2$ Kubikzoll von 0° auf 100° zu erhitzen, ist genau dieselbe Wärmemenge erforderlich. Aus diesem Experiment ersehen wir ferner, daß der Dampf, nachdem er wieder zu Wasser eingeschrumpft ist, einen 1700 mal kleinern Raum einnimmt als vorher. Stellen wir uns demnach das Gefäß überall als geschlossen vor, so giebt es nach der Verdichtung darin einen Raum, in welchem weder Wasser, noch Luft, noch Dampf befindlich ist, wenigstens hat der leichte Dampf, der sich doch aus dem heißen Wasser entwickelt und den Raum erfüllt, keine erwähnenswerthe Spannung, besonders wenn das kalte Wasser reichlicher eingespritzt wurde. Dieses sogenannte Vacuum, der luftleere Raum, ist nun Ursach, daß die äußere Luft überall mit der Kraft einer Atmosphäre auf die Außenwandungen des Gefäßes drückt und wenn ein Stück des Gefäßes nach innen verschiebbar wäre, wie es der Fall bei einem Cylinder mit Kolben ist, so würde letzterer mit um so größerer Gewalt nach innen gedrückt werden, je größer seine Oberfläche wäre. Dies ist das Princip der Newcomenschen oder atmosphärischen Dampfmaschine, die wir, obschon sie gegenwärtig kaum noch irgendwo in

Gebrauch ist, doch mit vorführen wollen, da sie die Sache gut versinnlicht und überdies die Mutter der heutigen Dampfmaschine ist. Aus dem Dampfkessel a tritt der Dampf in den darüber befindlichen oben offenen Cylinder unter den Kolben h. Dies ist eigentlich seine ganze Arbeit, denn der Kolben hebt sich schon vermöge des Gegengewichts an der andern Seite, sobald der Dampf einströmt und dadurch der Druck auf die Ober- und Unterseite des Kolbens gleich wird. Ist der Kolben hoch genug gestiegen, so wird der Dampf abgesperrt und der Kaltwasserhahn und das Abflußrohr geöffnet, was anfänglich mit der Hand, später durch die Maschine selbst mittelst an den Balancier angebrachter Zugstangen geschah. Das aus dem Behälter g einspritzende Wasser verdichtet den Dampf im Cylinder und ein sofortiges Niedergehen des Kolbens ist die Folge, wobei das condensirte Wasser nach unten abfließt. Ist der Kolben unten angekommen, so tritt der Wechsel der Hähne ein, und das Spiel beginnt von neuem. Man sieht also, daß die Maschine ihre Kraft nur beim Niedergange des Kolbens entwickelte, und daß man die Fläche desselben um so größer machen mußte, je stärker man die Maschine haben wollte. So hatte man zwar, was man gewünscht hatte, eine Pumpmaschine für den Bergbau, aber es fehlte noch viel zur heutigen Dampfmaschine.

Fig. 166.



Vor der Betrachtung dieser haben wir noch einiges über die Eigenschaften des Dampfes nachzuholen. Wie wir sahen, befindet sich in einem geschlossenen, theilweise mit Wasser gefüllten Gefäß bei jeder Temperatur eine bestimmte Dampfmenge, die einen bestimmten Druck auf die umgebenden Wände ausübt. Eine Erhöhung der Temperatur hat eine erhöhte Spannung zur Folge; lassen wir aber die Temperatur unverändert, vergrößern dagegen den Dampfraum, z. B. durch Aufziehen eines Kolbens, so entwickelt sich alsbald eine neue Menge Dampf, bis der Raum wieder gefüllt oder gesättigt ist; der Druck gegen die Wände ist nun derselbe wie vorher; lassen wir aber das Gefäß erkalten, so wird der Druck in demselben Maße abnehmen, wie die Wärme abnimmt, der Dampfraum kann

bei geringeren Temperaturen immer weniger Dampf fassen; der Ueberschuß verdichtet sich und läuft als Wasser an den Wänden herab. Würde man dagegen bei gleichbleibender-Temperatur den Dampfraum verkleinern, so kann man dadurch nicht, wie bei der Luft und andern Gasen, eine größere Spannung hervorbringen, sondern in dem Verhältniß wie der Raum abnimmt wird auch ein Theil Dampf zu Wasser und die Spannung bleibt dieselbe wie vorher, weil ja die Temperatur keine andere geworden. Dies alles gilt so lange als Wasser und Dampf zugleich vorhanden sind. Der letztere bleibt dann unter allen Umständen gesättigt; er nimmt bei größerer Erhitzung mehr Wasser auf, und deshalb nimmt mit seiner Spannkraft auch seine Dichtheit zu. Durch Zusammenpressen kann ihm keine größere Spannkraft gegeben werden, weil sich im Verhältniß der Raumverminderung aus ihm Wasser abscheidet. Dagegen verhält sich der isolirte, d. h. der nicht mehr mit Wasser in Berührung stehende Dampf ganz wie die Luft oder irgend ein anderes Gas und folgt wie diese dem Mariottischen Gesetz, vorausgesetzt doch, daß seine Temperatur nicht tiefer sinkt als diejenige, bei der er erzeugt wurde, denn sonst wird er doch zu Wasser. Man kann demnach isolirten Dampf weiter erhitzen und seine Spannkraft vermehrt sich dadurch, wenn ihm kein größerer Raum verstattet wird, jedoch nur in dem Maße, als er sich hätte frei ausdehnen können. Wird Luft von 100° auf 121° erhitzt, so nimmt die Spannkraft nur im Verhältniß von 17 : 18 zu; ebenso verhält sich auch der überhitzte Wasserdampf, während bei dem gesättigten, weil dieser zugleich noch Wasser aufgenommen haben würde, der Druck bei dieser Temperatursteigerung schon das Doppelte geworden wäre.

Läßt man eine bestimmte Menge Dampf von mehr als einer Atmosphäre Spannung in einen durch einen beweglichen Kolben geschlossenen Cylinder treten, so dehnt er sich aus und schiebt den Kolben vor sich her, wobei er sich, eben durch die Ausdehnung, immer mehr erkältet und immer mehr an Spannkraft verliert. Ist der Kolben nicht wesentlich belastet, so wird er so lange fortgeschoben, bis der Druck auf seine beiden Seiten gleich ist, also der Dampf im Innern nur noch 1 Atmosphäre Spannung hat. Dies ist die Arbeit, welche der Dampf überhaupt leisten kann, so lange auf der andern Seite die Atmosphäre gegenwirkt. Diese Gegenwirkung kann, wie wir später sehen werden, durch die Condensation größtentheils noch aufgehoben und dadurch die Dampfkraft noch um fast 1 Atmosphäre gesteigert werden.

Um die Kraft zu berechnen, welche eine Dampfmaschine ausübt, muß man, wie sich denken läßt, die Dampfspannung, die Fläche des getriebenen Kolbens und die Geschwindigkeit desselben kennen. Arbeitet eine Maschine ohne Condensation mit 5 Atmosphären Spannung, so können wegen des äußern Luftdrucks nur 4 gerechnet werden. Ein Kolben von 1 Quadratfuß erhält mithin, den Druck einer Atmosphäre zu nahe 2176 pr. Pfund angenommen, hier einen Druck von etwa 8700 Pfund, und wenn er sich unter diesem z. B. mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß in der Secunde bewegt (bei Locomotiven beträgt sie etwa 5 Fuß) so ist seine Arbeit 26,100 Fußpfund oder etwa 52 Pferdekräfte. Da indeß immer Dampfverluste vorkommen und die Maschine selbst doch auch

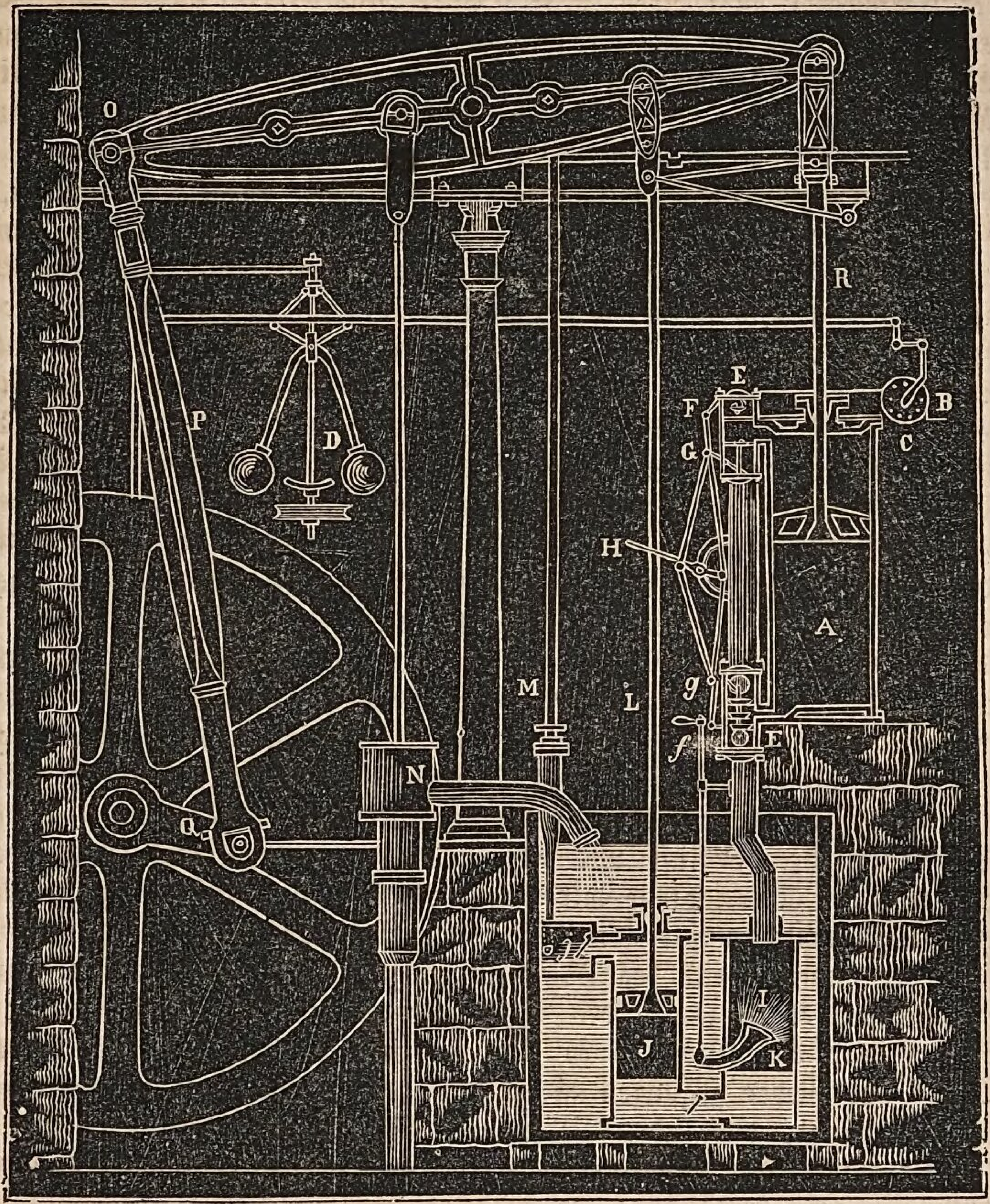
getrieben werden muß, so ist der wirkliche Nutzeffect stets bedeutend geringer. Bei jedem Kolbengange wird natürlich ein Cylinder voll neuer Dampf verbraucht, und die Arbeit des Dampfes wird daher eben so gefunden, wenn man seinen Druck auf den Kolben mit seinem Volumen multiplicirt. Der Cylinder bildet somit ein gleichbleibendes Maß, über welches aller verbrauchter Dampf gemessen wird, und es ist demnach nicht schwer zu berechnen, wie viel Dampf für einen gegebenen Zweck erforderlich ist und wie viel Wasser in einer bestimmten Zeit verdampft werden muß, um ihn zu erzeugen. Man weiß auch wie viel Hitze hierzu nöthig ist und hat gefunden, daß gleiche Wärmemengen immer gleiche Mengen Dampf erzeugen, die Verdampfung möge geschehen unter welchem Drucke sie wolle. Die Wärme selbst hat man in Einheiten getheilt und ihr Verhältniß zur mechanischen Kraft festgestellt. Man nennt eine Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist um 1 Pfund Wasser von 0 Temperatur auf 1° des 100theiligen Thermometers zu erwärmen. Eine Wärmeeinheit entspricht der Theorie nach 1327 Krafteinheiten oder Fußpfunden, d. h. sie vermag dieselbe mechanische Wirkung auszuüben wie ein Gewicht von 1327 Pfund, das 1 Fuß tief fällt. Da es begreiflicherweise nicht möglich ist, alle erzeugte Wärme ausschließlich nur dem Wasser zuzuführen, und außerdem noch eine Menge unvermeidliche Kraftverluste den Effect verkümmern, so bleibt auch die Praxis weit hinter der Theorie zurück und man kann annehmen, daß höchstens $^1/_6$, in vielen Fällen kaum $^1/_{20}$ der erzeugten Hitze in Nutzkraft verwandelt werde. Indeß wird gegenwärtig durch verbesserte Einrichtung der Feuerungsanlagen, Kessel und Maschinen, wohin besonders auch die später zu erklärende Expansion zu rechnen, so wie durch bessere Beaufsichtigung doch bedeutend mehr als vordem erreicht.

Die alte Newcomensche Luftmaschine wurde hauptsächlich durch Watt in die heutige Dampfmaschine umgeschaffen. Der Uebelstand, daß bei jener auch der Cylinder erkältet wird, wenn man den Dampf unterm Kolben durch eingespritztes kaltes Wasser condensirt, wodurch nothwendig auch der nachgehends wieder eintretende Dampf eine Erkältung erleidet, führte Watt darauf, die Mischung von Dampf und kaltem Wasser in einem besondern Gefäß, dem Condensator, vor sich gehen zu lassen. Endlich ließ er den Luftdruck ganz aus dem Spiele und setzte den Kolben in einem geschlossenen Cylinder lediglich durch Dampf in Bewegung, den er abwechselnd bald auf der einen, bald auf der andern Seite hinter den Kolben treten und den nach vorn zu befindlichen Dampf in dem Condensator niederschlagen ließ. Die Kraftwirkung der Maschine war nun nicht mehr blos von dem Querschnitt des Kolbens abhängig; sie konnte durch höhere Spannung der Dämpfe noch ungemein gesteigert werden. Dies war die doppeltwirkende Dampfmaschine Watt's, von der wir umstehend eine Ansicht geben. Sie bildet, ausgestattet mit Kurbel, Schwungrad und Regulator, ein fertiges Ganzes, eine Maschine, die bei ungeheurer Kraft den geregelten Gang eines Uhrwerks einhalten kann. Während daher Newcomens Maschine nicht viel Anderes konnte als Wasser pumpen, ist die Dampfmaschine so zu sagen ein technisches Universalmittel geworden.

Zur Erklärung der Zeichnung diene Folgendes. Aus dem (nicht mit

abgebildeten) Dampfkessel leitet, wie sich denken läßt, ein festes Rohr den Dampf nach dem Cylinder A über. Kurz vor Eintritt des Dampfrohres ist dasselbe mit einer innern Klappe, ähnlich der Klappe in Ofenröhren, versehen; diese

Fig. 167.



Klappe (die Drosselklappe, hier durch C angedeutet) steht im Zusammenhange mit dem später zu erklärenden Kugelregulator D, und wird von diesem je nach Bedürfniß mehr geöffnet oder geschlossen. Der Dampf tritt zunächst in einen an der einen Seite des Cylinders befindlichen Hohlraum, Ventilkasten oder Dampfbüchse genannt, in welchem die Steuerung thätig ist, denselben abwechselnd bald über, bald unter dem Kolben in den Cylinder treten zu lassen. Der Cylinder ist bekanntlich oben und unten verschlossen und die Kolbenstange geht luftdicht hindurch, so daß der atmosphärischen Luft aller Einfluß auf den Kolben

abgeschnitten ist. Tritt nun z. B. der Dampf oberhalb des Kolbens in den Cylinder, so kann der unter diesem befindliche Dampf frei durch das Abzugsrohr in den Condensator austreten, denn mit dem obern Einflußwege ist zugleich ein unterer Ausflußweg geöffnet worden. Der Condensator ist ein in kaltem Wasser stehender Cylinder I, in welchen mittelst einer Brause fortwährend kaltes Wasser eingespritzt wird. Indem nun der Kolben durch die Kraft des über ihm eindringenden Dampfes herniedergetrieben wird, tritt der unter ihm befindliche in den Condensator, wo er sich zu Wasser verdichtet, so daß der Kolben auf seinem Niedergange nur einen ganz geringen Widerstand vor sich antrifft. Dasselbe wiederholt sich in umgekehrter Weise, wenn der Kolben unten angelangt ist, denn nun wird der untere Dampfweg und der obere Abflußweg geöffnet, und der Kolben wird ebenso in die Höhe getrieben, wie er heruntergedrückt wurde, während auch aus dem Oberraum der ausgediente Dampf in den Condensator geht. Wie der Dampf bald über, bald unter den Kolben geleitet wird, soll noch näher erklärt werden. In den älteren Maschinen Watt's geschah diese Stellung der Ventile mittelst einer Hebelverbindung, die durch die Pumpenstange L ihre Richtung erhielt, indem sie den Hebel H beim Auf- und Absteigen drehte. Jetzt geschieht die Steuerung von der Schwungradwelle aus mittelst des Excentrics.

Durch die fortwährende Verdichtung des Dampfes in dem Condensator I wird daselbst immerfort heißes Wasser gebildet und dieses muß also weggeschafft werden, was durch die Pumpe I geschieht, welche die Luftpumpe heißt, da sie auch die im Wasser und anfänglich in der Maschine enthaltene Luft mit hinwegnimmt. Eine andere Pumpe M, die Heißwasserpumpe, treibt das heiße Wasser gewöhnlich nach dem Behälter zurück, aus welchem der Kessel gespeist wird, während die Kaltwasserpumpe N fortwährend kaltes Wasser herbeischafft, damit die Condensation der Dämpfe ihren Fortgang haben kann.

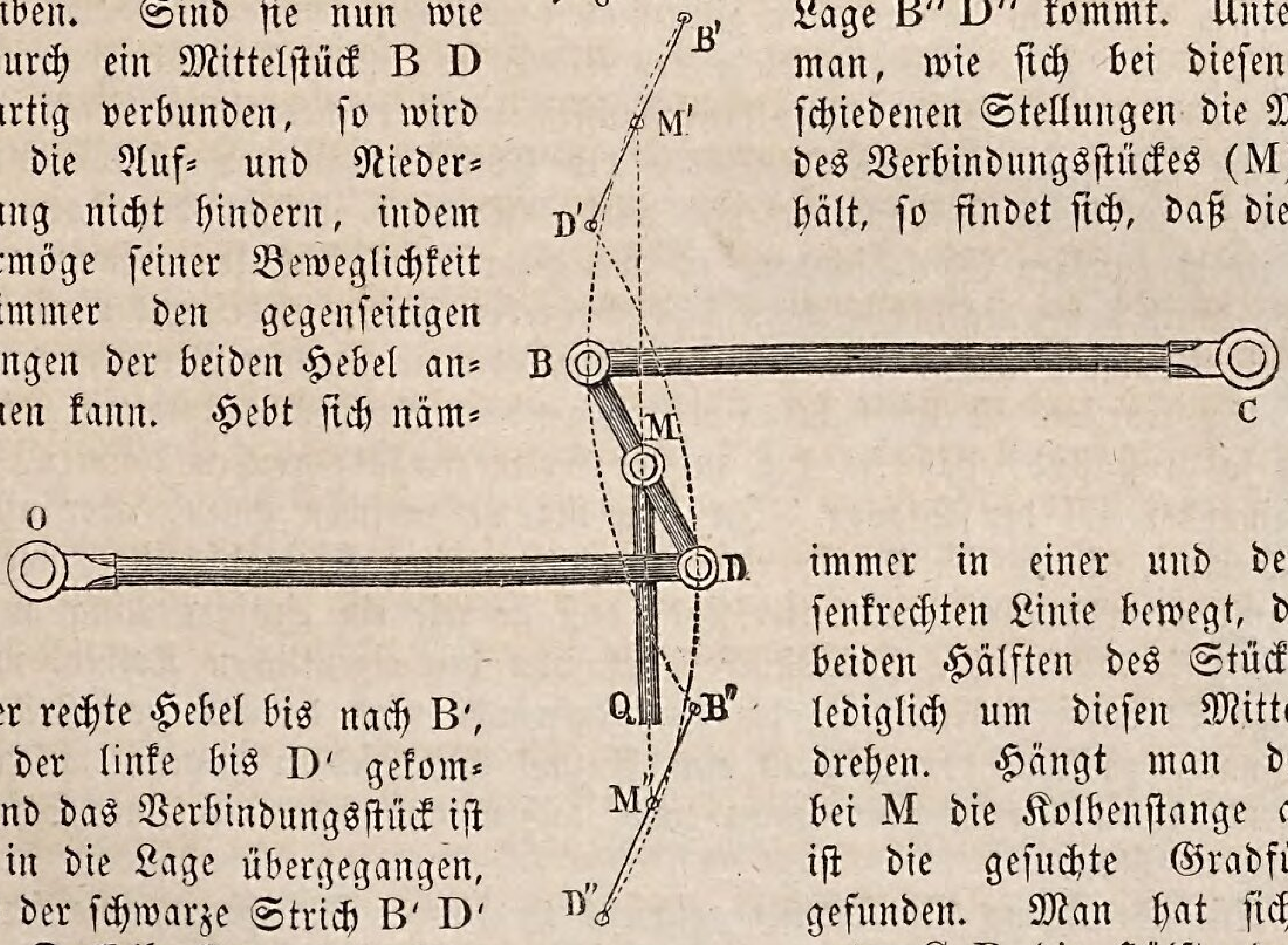
Das fortwährende Auf- und Absteigen des Kolbens muß nun, da dieser vermittelst der Kolbenstange mit einem gleicharmigen Hebel, dem Balancier, zusammenhängt, letzterem eine abwechselnde Drehung um seinen Stützpunkt ertheilen. An der andern Seite des Balancier hängt die Kurbelstange, die mit ihrem untern Ende den Kurbelzapfen des Schwungrades umfaßt. Bei richtiger Länge der Stange wird das letztere einen Umgang gemacht haben, so oft der Kolben einmal auf und nieder gegangen ist, und da das Tempo des Kolbens von der Steuerung abhängt, diese aber wieder vom Schwungrade dirigirt wird, so bedingt immer eine dieser Bewegungen die andere, und alle können nicht anders als gleichzeitig erfolgen.

Es ist nun auf mehrere einzelne Punkte besonders aufmerksam zu machen. Die alten atmosphärischen Maschinen mit oben offenem Cylinder hatten den Balancier lediglich auf einer Seite niederzuziehen, wozu eine Kette füglich ausreichte. Bei der Dampfmaschine sollte die Wirkung nach beiden Richtungen erfolgen, wodurch ein starres Stück, eine Kolbenstange geboten war. Zugleich mußte aber, da die Luft keinen Einfluß mehr auf den Kolben haben durfte, der Cylinder oben geschlossen sein, und durch den Deckel mußte die Stange luftdicht hindurchgehen. Hieraus ergab sich die Nothwendigkeit einer Stopfbüchse. Diese

häufig vorkommende Einrichtung ist bestimmt, einer Stange zwar freie Bewegung zu gestatten, aber alles Entweichen von Wasser, Dampf oder Luft dabei zu verhindern. Sie besteht im Wesentlichen aus zwei Röhrenstücken, von denen das untere als Hülse zur Aufnahme des eingeschobenen obern dient. Das obere kann nun entweder glatt, bei glatter Hülse, oder mit einem Schraubengewinde versehen sein, wo dann das untere als Mutter dient. Ist Hülse und Kernstück glatt, so sind äußere Oesen an denselben, um durch Schrauben zusammengezogen werden zu können. Durch das Eintreiben des obern Stückes in das untere wird nun ein getalgtes Hanfgeflecht so fest an die glatte Stange rundum angepreßt, daß auch bei Auf- und Niederbewegung derselben weder Dampf noch Luft oder Wasser daneben einen Ausweg finden. Natürlich kann eine solche Vorrichtung nur unter der Bedingung wirksam sein, daß die Stange immer in ganz geradliniger Richtung geht, da Schwankungen derselben bald Undichtheiten zur Folge haben würden. Nun beschreiben aber die Enden des Balanciers Kreisbogen, und es galt daher ein Versöhnungsmittel zwischen der geraden und krummen Linie zu finden. Diese Aufgabe löste Watt in schöner Weise durch eine Verbindung von Hebeln, die in unserer Abbildung nicht deutlich genug hervortritt, daher wir mit Hülfe einer besondern Zeichnung das Princip der Sache erklären wollen.

Es seien C B und O D zwei Arme oder Hebel, die sich um Zapfen bei C und O drehen. Sie werden, wenn sie sich auf und niederbewegen, die punktirten Bogen in der Luft beschreiben. Sind sie nun wie hier durch ein Mittelstück B D gelenkartig verbunden, so wird dieses die Auf- und Niederbewegung nicht hindern, indem es vermöge seiner Beweglichkeit sich immer den gegenseitigen Stellungen der beiden Hebel anbequemen kann. Hebt sich nämlich der rechte Hebel bis nach B', so ist der linke bis D' gekommen und das Verbindungsstück ist dabei in die Lage übergegangen, wie es der schwarze Strich B' D' zeigt. Dasselbe findet beim Niedergange statt, wo es in die Lage B'' D'' kommt. Untersucht man, wie sich bei diesen verschiedenen Stellungen die **Mitte** des Verbindungsstückes (M) verhält, so findet sich, daß diese sich immer in einer und derselben senkrechten Linie bewegt, daß die beiden Hälften des Stückes sich lediglich um diesen Mittelpunkt drehen. Hängt man demnach bei M die Kolbenstange an, so ist die gesuchte Gradführung gefunden. Man hat sich nun unter C B die Hälfte des Balanciers, unter C D einen Hebel vorzustellen, dessen Zapfen O an irgend einem Punkte des Maschinengestelles festsitzt, und es wird nun die Wirkung des Watt'schen Parallelogramms verständlich sein. In der Praxis ist die Anordnung

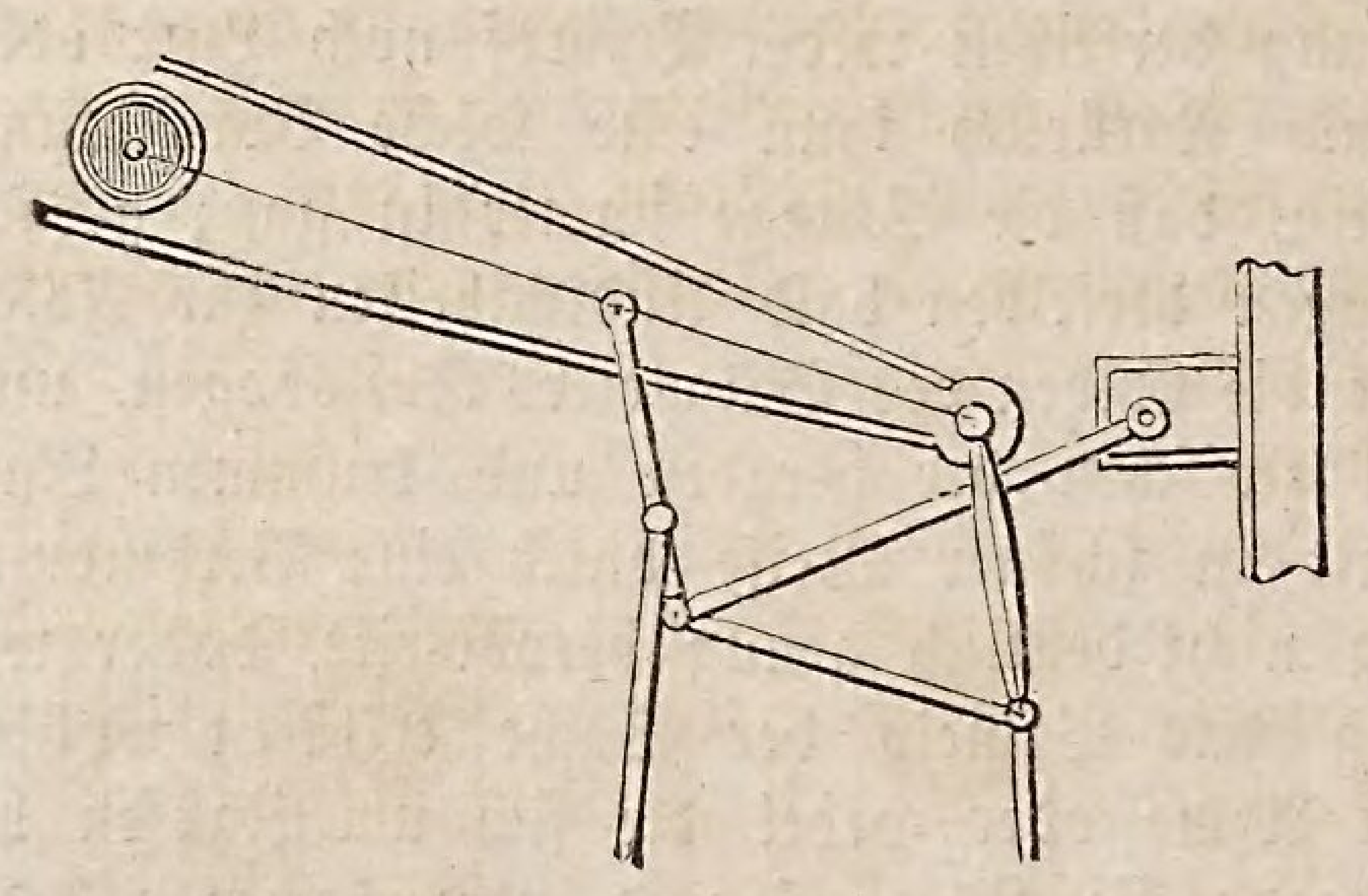
Fig. 168.



der Hebel mehrfach verändert, aber das Princip bleibt immer dasselbe. Gilt es blos die Kolbenstange zu führen, so genügen jedenfalls drei Stücke; in der Regel ist aber auch die Luftpumpenstange mit hier angehangen, wodurch die Zusammenstellung etwas complicirter wird und gewöhnlich wie in untenstehender Figur aussieht.

Wie für möglichst vollkommene Dichtung der Kolbenstange gesorgt sein muß, so nicht minder für die Dichtung des Kolbens selbst; denn es ist klar, daß der Kolben den Cylinder in zwei völlig getrennte Abtheilungen scheiden muß und daß die Kraft der Maschine wesentlich geschwächt würde, wenn auch nur wenig Dampf direct aus einer Abtheilung in die andere sich durchdrängen könnte. In den ersten Zeiten gab man dem Dampfkolben dieselbe Dichtung von Leder, Hanf u. dgl. wie den Pumpenkolben; gegenwärtig wird allgemein die Metallliederung angewandt, d. h. es gleiten glatte Metallflächen ohne Zwischenmittel auf einander.

Fig. 169.



Der metallne, gewöhnlich gußeiserne Cylinder ist zu diesem Zweck im Innern sehr glatt und regelmäßig rund ausgebohrt, so daß ein gleichfalls genau runder metallner Kolben ihn überall gleich gut schließen muß. Die Wandungen des Kolbens müssen indeß immer einige Elasticität haben, um sich genau an die Innenseite des Cylinders anlegen zu können, ohne daß eine zu starke Reibung erzeugt wird. Deshalb besteht der Kolben nicht aus einem einzigen Block, sondern ist aus mehreren Abschnitten zusammengesetzt, welche durch innenliegende Federn das Bestreben haben auseinander zu weichen und eben dadurch immer mit den Cylinderwänden in genauer Berührung bleiben. Die Construction ist im Allgemeinen folgende. Zwei Metallplatten, die nicht ganz so groß sind, daß sie bis an die Cylinderwände reichen könnten, stecken übereinander auf der Stange. In dem Raume zwischen ihnen, aber nicht fest eingeklemmt, liegen im Kreise eine Anzahl metallne Kreisabschnitte, welche so gut zusammenschließend gearbeitet sind, daß sie wie ein einziger Ring aussehen. Dieses zusammengesetzte Mittelstück bildet nun den eigentlichen Kolben, und der nöthige Anschluß desselben an die Cylinderwände wird dadurch hergestellt, daß im Innern zwischen den Platten eine Anzahl Metallfedern liegen, welche fortwährend einen Druck von innen nach außen auf jedes einzelne Stück des Ringes ausüben.

Die Steuerung der Ventile geschieht an neuern Maschinen, wie schon bemerkt, gewöhnlich mittelst Excentrics, wie wir ein solches bereits S. 116 kennen lernten. Bei der Watt'schen Maschine hat die excentrische Scheibe ihren Platz auf der Kurbelwelle neben dem Schwungrade; das Zuggestänge desselben läuft nach der andern Seite bis unter den Dampfcylinder. Da dieser hier aufrecht

steht, so ist auch für die Steuerung eine auf- und abwärtsgehende Bewegung nöthig, weshalb hier ein Winkelhebel liegt, der die horizontale Bewegung der Zugstange in eine vertikale verwandelt, indem er die Stange, welche die Ventile in Bewegung setzt, auf und nieder zieht.

Die Zu- und Ableitung des Dampfes zum Kolben, also die Einrichtung der Ventile, hat als ein besonders wichtiger Punkt das Nachdenken vielfach in Anspruch genommen. Anfänglich wurden dazu metallne konische Klappen, dann auch hahnförmige Ventile, besonders der sog. Vierweghahn benutzt. Ungleich besser haben sich aber die jetzt allgemein gebräuchlichen Schieberventile bewährt. Ihre Formen sind sehr mannichfaltig, obwohl sie im Princip wenig von einander abweichen. Wir wollen die Einrichtung eines solchen Ventils durch eine Figur veranschaulichen, welche den Schieber erst in der Position zeigt, in welcher er den Dampf unter den Kolben, und dann in der andern, wo er ihn über den Kolben treten läßt. A B ist die dicht neben dem Cylinder liegende Dampfbüchse, E F die Stange, welche vom Excentric oder von einem andern Punkte der Maschine aus ihre auf und niedergehende Bewegung erhält. Diese durch eine Stopfbüchse gehende Stange schiebt den Riegel G auf und nieder und öffnet und deckt dadurch wechselsweise die verschiedenen Dampfwege. S ist die Mündung des aus dem Kessel kommenden Dampfrohrs, T die Mündung des Ausblaserohrs, das entweder in einen Condensator oder ins Freie führt. Der Canal H ist der Weg, der den Dampf über den Kolben leitet, der Canal I führt ihn unter den Kolben. Wie man nun leicht sieht, ist in der ersten Position des Schiebers dem eindringenden Dampfe der Weg nach unten geöffnet, der Kolben hebt sich demnach und der über ihm befindliche Dampf kann durch den Canal H zurücktreten und durch T entweichen; in der zweiten Position geht der Dampf durch H vorwärts über den Cylinder, und der Dampf unter ihm findet den Ausweg durch I nach T frei.

Fig. 170.

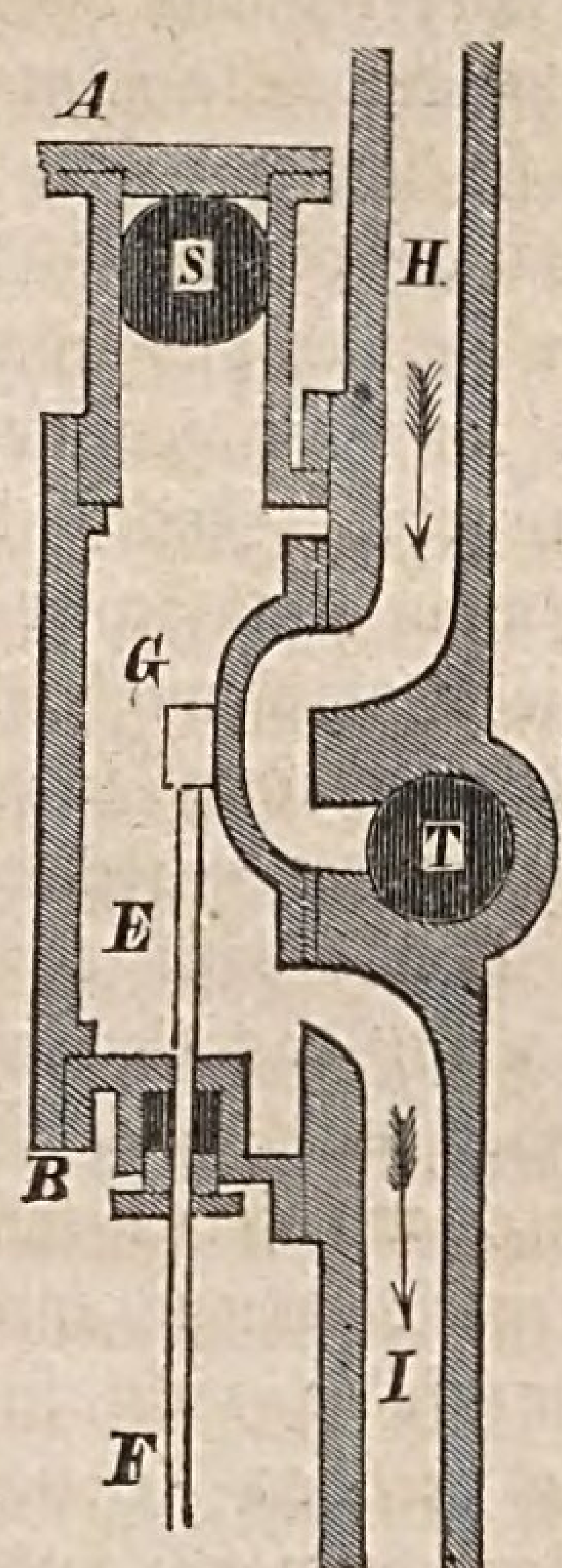
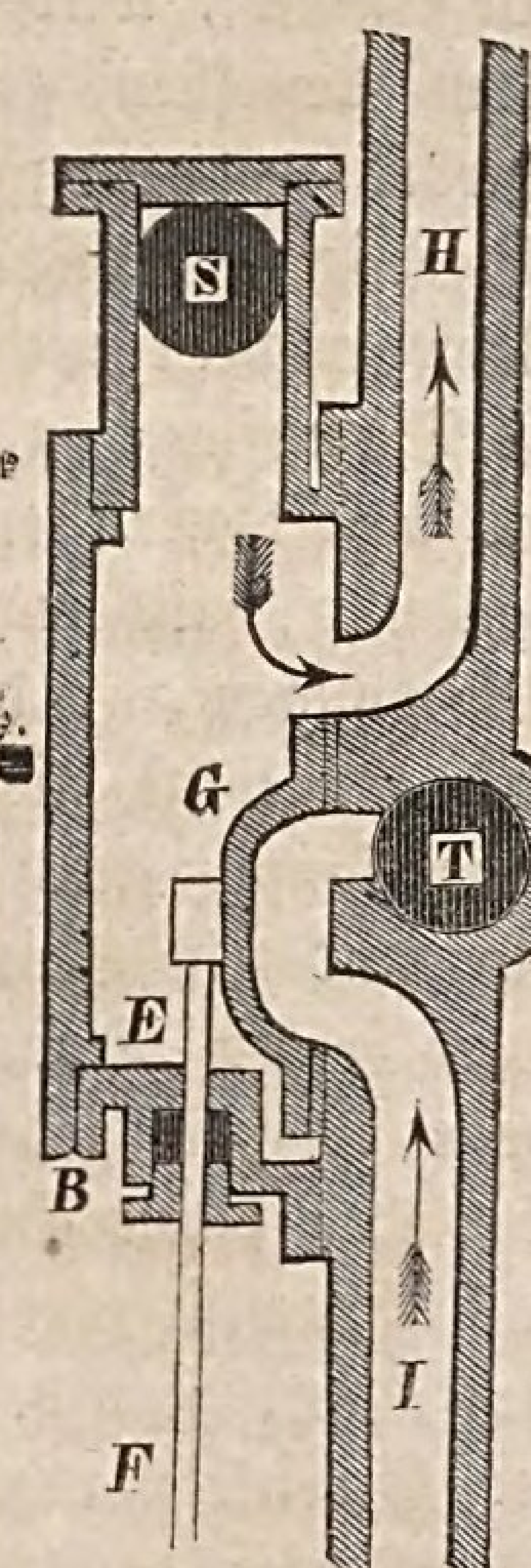


Fig. 171.



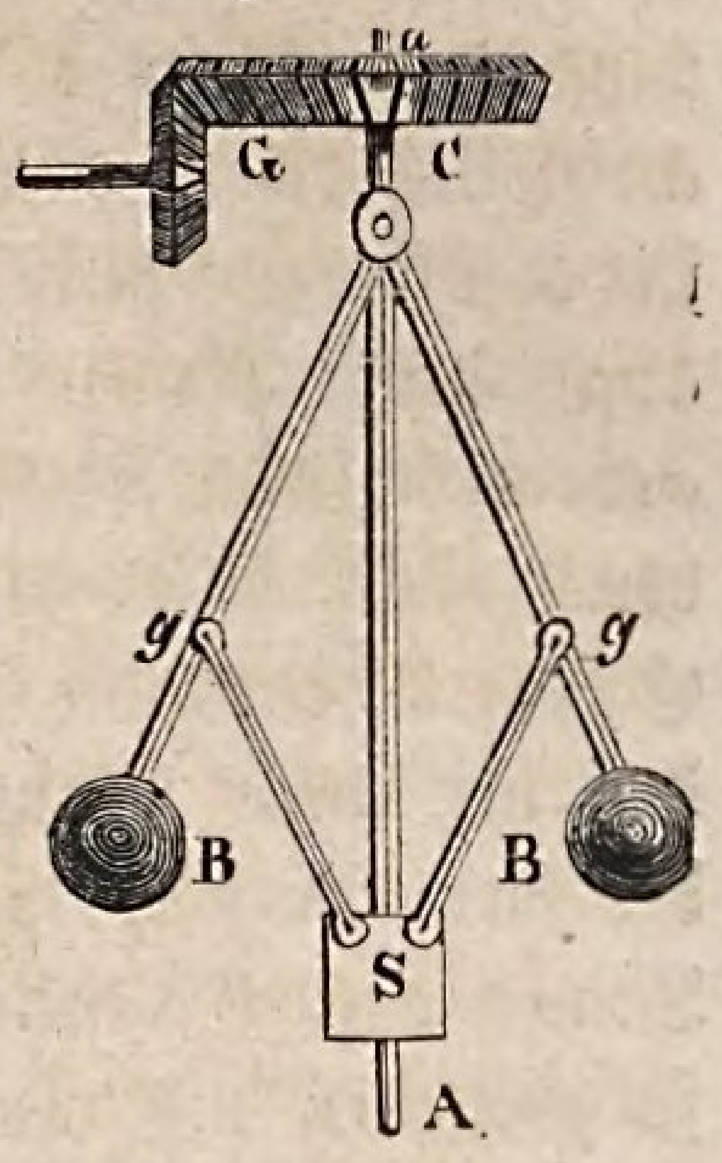
Für den hier dargestellten Schieber giebt es nur die zwei Positionen, in denen wir ihn sehen, und er muß mit einem raschen Schritt aus einer in die andere übergehen, denn bei einem Stehenbleiben auf halbem Wege würden augenscheinlich beide Dampfwege und zugleich das Ausblaserohr abgesperrt, und der Kolben könnte weder hin noch her. Es darf aber nur der Riegel etwas länger sein, so daß beide Platten um die Breite eines Dampflochs weiter von einander abstehen, so sind vier verschiedene Stellungen zwischen ihm und den beiden Dampflöchern möglich, welche im Verlauf eines Hin- und Hergangs nach einander

eintreten: nämlich der Schieber rückt von einem Endpunkte her vor, seine vordere Platte deckt den vor ihm liegenden Dampfweg und sperrt so den Zugang zum Cylinder; währenddem ist in Bezug auf den hinten liegenden Dampfweg noch keine Aenderung eingetreten; er bleibt für eintretenden Dampf geschlossen und läßt dem schon im Cylinder thätig gewesenen Dampfe fortwährend freien Austritt. Erst die zweite Rückung des Schiebers legt diesen hintern Dampfweg frei, der Dampf dringt nun hier ein u. s. w. Beim Rückgang des Schiebers tritt dann dieselbe Reihenfolge in der andern Richtung auf. Eine solche Schiebereinrichtung dient, um bei Hochdruckmaschinen mit Expansion zu arbeiten, was eben in nichts weiterem besteht, als daß der Dampfzutritt zum Kolben abgesperrt wird, bevor dieser seinen ganzen Weg durchlaufen. Die Absperrung kann beliebig auf ein $1/2$, $1/3$ ꝛc. des Weges stattfinden; es kommt hierbei nur darauf an, wie lange der Schieber zwischen der ersten und zweiten Fortrückung pausirt, und dies, so wie überhaupt die Art und Weise wie der Schieber seinen Weg macht, wird wieder durch die Form des Excentrics bedingt. Bei der Kreisform desselben geht die Steuerungsstange gerade so als würde sie durch eine Kurbel getrieben; sie hat demnach in der ersten Hälfte jedes Schubes eine beschleunigte, von da ab bis ans Ende eine abnehmende Geschwindigkeit. Diese Bewegung ist nicht gerade die günstigste für den Dampfschieber, da hierdurch die Dampfwege zu langsam geöffnet und geschlossen werden und in der Zwischenzeit Kraft verloren geht. Indeß ist das runde Excentric doch vielfach in Anwendung, indem man den Fehler dadurch auszugleichen sucht, daß man die Mündungen für die Dampfcanäle, den Cylinder stehend gedacht, möglichst breit und möglichst niedrig macht, so daß die Ueberschreitung der Lücke jedenfalls keine lange Zeit erfordert. Zuweilen macht man das Excentric dreieckig mit zugerundeten Seiten und läßt es sich in einer viereckigen Umfassung drehen. Der Erfolg hiervon ist, daß die Zugstange rascher erfaßt und demnach die Dampfwege rascher geöffnet und geschlossen werden. Bei der Expansion macht der Schieber jeden Hin-, wie jeden Rückgang in zwei Absätzen, zu welchem Zweck das Expansionsexcentric einen unregelmäßig wellenförmigen Zuschnitt erhalten muß, und sich demzufolge nicht in einer Umfassung, sondern zwischen zwei an der Excentricstange sitzenden Frictionsrollen dreht.

Unter den Vorrichtungen, welche sich außerdem noch zur Unterhaltung und Regulirung des Ganges, sowie der Abwendung von Gefahr halber an der Dampfmaschine befinden, ist der Regulator des Dampfzuflusses eine der wichtigsten. Es kann sich ereignen und ereignet sich in manchen Fällen, z. B. bei Walzwerken, regelmäßig, daß die Widerstände, welche die Maschine zu überwinden hat, plötzlich ab- oder zunehmen, oder die Spannung des Dampfes selbst eine andere wird. Die Maschine wird daher nach Umständen schneller oder langsamer zu gehen anfangen. Um aber diese Variationen der Geschwindigkeit in möglichst engen Grenzen zu halten, ist die Einrichtung getroffen, daß die Maschine selbst den Canal des Dampfzuflusses verengert, wenn eine Zunahme, und erweitert, wenn eine Abnahme der Geschwindigkeit eintritt. Dies geschieht vermöge des Kugelregulators oder Centrifugalpendels (D in Fig. 167).

Dasselbe empfängt seine Bewegung von der Schwungradwelle aus entweder vermittelst einer Laufschnur oder eines konischen Zahngetriebes. Es läuft beständig um, so lange die Maschine geht, und die beiden Schwungkugeln, deren Stäbe oben eingelenkt sind, behalten, so lange die Geschwindigkeit gleichbleibt, einen gewissen Abstand von der Spindel bei, wie er sich eben aus der ihnen ertheilten Centrifugalkraft ergiebt. Fängt die Maschine an schneller zu gehen, so fliegen die Kugeln weiter ab, die Scheere, welche die obern Enden der Kugelstangen mit noch zwei andern kurzen Stäbchen bilden, wird dadurch verkürzt und zieht einen Hebel nieder; der Zug pflanzt sich vermittelst eines Winkelhebels auf die horizontal bis zur Drosselklappe C hinlaufende Stange fort und letztere erhält dadurch eine Drehung, welche den Dampfweg mehr oder minder verengert. Der verminderte Dampfzufluß hat alsbald zur Folge, daß die Maschine wieder langsamer geht. Fällt sie dagegen unter ihre mittlere Geschwindigkeit, so findet begreiflicherweise das Gegentheil statt: die Kugeln nähern sich der Spindel, die Scheere schiebt nach oben und der Klappenzug wirkt so, daß mehr Dampf zugelassen wird. Bei einer andern Einrichtung des Regulators, die wir in Fig. 172 sehen, setzen sich die Kugelstangen oberhalb ihres gemeinschaftlichen Gelenkes nicht fort, bilden dagegen mit den zwei bei g eingelenkten Stücken nach unten eine Scheere, welche sich bei vermehrter Geschwindigkeit verkürzt, bei verminderter verlängert. Hierdurch steigt und sinkt das auf der Spindel gleitende Stück S, und von diesem aus müssen nun Hebel und Zugstange auf die Drosselklappe dergestalt wirken, daß sie bei Steigen schließt, beim Sinken öffnet.

Fig. 172.



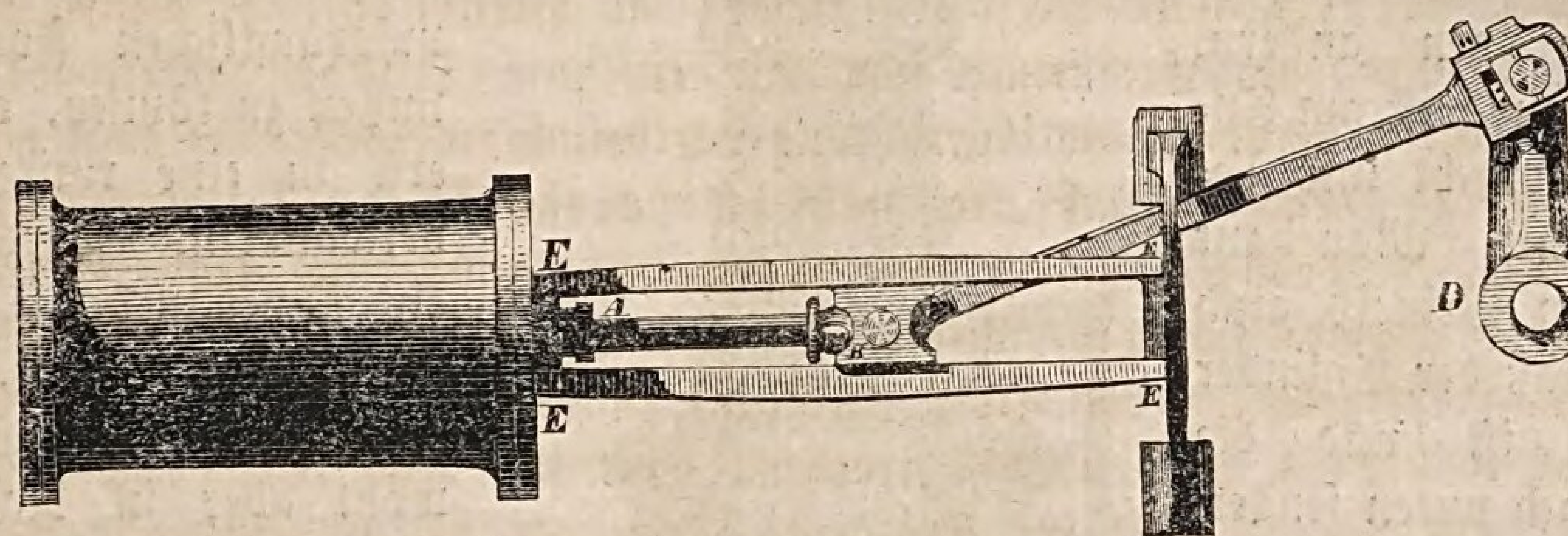
Weit einfacher als die Watt'sche Maschine sind die sog. Hochdruckmaschinen, bei welchen Dampf von 3, 4 und mehr Atmosphären Spannung angewandt wird, während jene oft nur mit $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ Atmosphären Druck arbeitet und daher Niederdruckmaschine genannt wird. Bei den Hochdruckmaschinen wird nämlich meistentheils der verbrauchte Dampf aus dem Cylinder entlassen ohne condensirt zu werden und es kommt somit der ganze hierauf bezügliche Apparat in Wegfall. Allerdings geht so eine Atmosphäre Kraft verloren; aber der Condensator erforderte auch eine nicht unbeträchtliche Kraft zur Inganghaltung der Luft-, Heißwasser- und Kaltwasserpumpe, die von jenem Verlust in Abzug kommt. Uebrigens besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen Hoch- und Niederdruckmaschinen nicht; man könnte eben so gut in der Watt'schen Maschine den Dampf auf mehrere Atmosphären spannen und der Condensator würde hierbei immer noch seinen Nutzen haben; es kommt daher nur auf Nebenumstände an, ob ein Condensator räthlich ist oder nicht. Die nicht condensirenden Hochdruckmaschinen empfehlen sich hauptsächlich durch die große Einfachheit ihres Mechanismus, dadurch daß sie viel kleiner sein und doch eine große Kraft entwickeln können, indem man ihrem Kolben eine sehr große Geschwindigkeit geben kann. In manchen Fällen, wo kein Condensator zuläßig ist, wie besonders für die Locomotiven, sind sie gar nicht zu entbehren. Hinsichtlich der Verwerthung

des Brennstoffs stehen ihnen die Niederdruckmaschinen voran; es wird bei ihnen mit dem gleichen Aufwand an Kohlen mehr Arbeitskraft gewonnen. Die Hochdruckmaschinen verlangen mehr Dampf, also eine stärkere Feuerung, weil in ihnen der Dampf dichter zusammengepreßt ist, daher mehr zur Füllung eines bestimmten Raumes gebraucht wird; aber es ist, wenn auch die Theorie den Satz aufstellt, durch die Erfahrung nicht ganz bestätigt, daß die gewonnene Kraft sich in demselben Maße steigere als der Aufwand an Brennstoff. Zuweilen kann der abgehende Dampf zum Erwärmen von Wasser, zum Trocknen, Heizen u. s. w. gebraucht werden, wodurch die Einrichtung vortheilhafter wird; verlangt man aber blos mechanische Kraft, so läßt sich noch eine große Ersparniß erzielen durch die Expansion, die deshalb auch in ganz allgemeiner Anwendung steht. Ein Kolben, der mit dem Dampf im Kessel in ununterbrochener Verbindung steht, wird, da die Feuerung fortgesetzt neuen Dampf erzeugt, mit gleicher Kraft durch die ganze Länge des Cylinders fortgeschoben werden; wird ihm nun ein Ausweg geöffnet, so tritt er mit um so größerer Kraft ins Freie, je höher seine Spannung ist. Diese Kraft ist demnach verloren. Um sie noch auszunutzen, läßt man entweder (bei der Woolf'schen Maschine) den abgehenden Dampf in einen zweiten Cylinder (den Expansionscylinder) zu einem zweiten Kolben treten, so daß er, wenn er anfänglich mit 3 — 4 Atmosphären Druck gearbeitet hat, durch die Expansion immer noch eine Kraft von 1 — 2 Atmosphären entwickeln kann; oder man läßt in einfacherer Weise die Expansion gleich im Hauptcylinder eintreten. Dies geschieht dadurch, daß man durch die schon besprochene Einrichtung des Schiebers den Dampfzufluß absperrt, nachdem der Kolben erst die Hälfte oder das Drittel u. s. w. seines Weges zurückgelegt hat, und es nun dem im Cylinder isolirten Dampfe überläßt, durch seine Ausdehnung den Kolben bis ans Ende zu treiben. Der Kolben erhält also nur im ersten Theile seines Weges bis zum Dampfabschluß den ganzen Druck des Dampfes und eine gleichförmige Bewegung. Der im Cylinder eingesperrte Dampf habe nun z. B. eine Spannung von 4 Atmosphären, so wird er sich bis zu 1 Atmosphäre auszudehnen streben und dadurch den Kolben noch weiter fortschieben. Bis zum Aeußersten kann man übrigens die Expansion nicht treiben, sondern muß dem Dampfe noch einige Spannkraft des raschern Entweichens halber übrig lassen, daher man die Ausdehnung nicht weiter als bis etwa $1^1/_4$ Atmosphäre gehen läßt. Wie man sieht, muß bei der Expansion der dem Kolben ertheilte Impuls nach Absperrung des Dampfes von Moment zu Moment schwächer, daher seine Bewegung immer langsamer werden. Diese Ungleichheit der Kolbenbewegung ist ein von der Expansion untrennbarer Uebelstand. Dagegen ist der Verbrauch an Dampf offenbar bedeutend geringer, wobei freilich nicht übersehen werden darf, daß die durchschnittliche Arbeit der Maschine nicht nach der Spannung der Dämpfe im Kessel, sondern nach dem Mittel zu berechnen ist, das sich aus den beiden Spannungsgraden zu Anfang und Ende des Kolbenschubes ergiebt, und das etwa die Hälfte der ursprünglichen Spannung sein kann.

Da nicht selten Fälle vorkommen, wo die Dampfmaschine bald schwerer, bald leichter zu arbeiten hat, z. B. in Fabriken, wo bald mehr, bald weniger

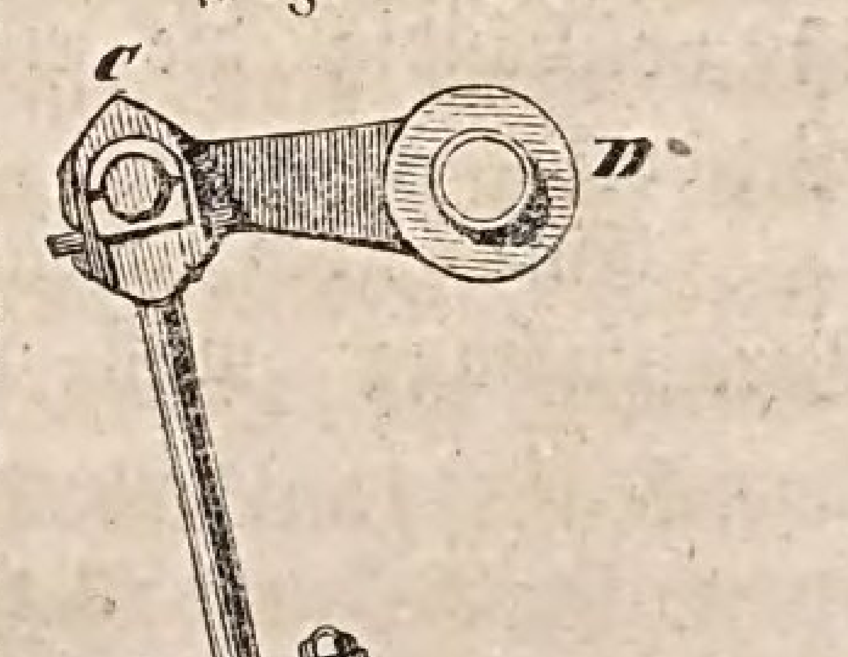
Arbeitsmaschinen in Thätigkeit sind, so hat man auch Einrichtungen getroffen, um die Expansion beliebig und jeden Augenblick verändern zu können, so daß man also die Größe des Dampfverbrauchs beständig in der Gewalt hat. Die Stellung wird entweder vom Maschinenwärter besorgt, oder sie ist selbstthätig, wie der Kugelregulator an der Watt'schen Maschine.

Fig. 173.



Bei der Watt'schen Maschine sahen wir die hin und hergehende Bewegung des Kolbens mittelst des Balancier und der Kurbel in eine rotirende verwandeln. Hier war der schwingende Balken schon deshalb nöthig, weil er zugleich die drei Pumpen mit zu treiben hatte. Für andere Fälle, wo er störend oder ganz unzulässig sein würde, ist er in Wegfall gekommen und man verbindet, wie namentlich an der Locomotive, die Kolbenstange durch ein Gelenk direct mit der Kurbelstange. Damit hierbei die erstere durch den schiefen Widerstand, den ihr die letztere abwechselnd von oben und unten entgegensetzt, nicht aus ihrer Richtung gebracht werde, läßt man sie, wie Fig. 173 zeigt, zwischen zwei festliegenden Schienen gleiten, oder auch zwischen Frictionsrollen gehen. Eine noch einfachere Verbindung ist bei den sogenannten oscillirenden Dampfmaschinen in Anwendung gekommen, welche hauptsächlich deshalb ins Leben gerufen wurden, um die Watt'sche Maschine auf Dampfschiffen zu ersetzen, wo sie wegen ihrer hohen Bauart unbequem war. Hier ist nun das eine Ende der Kolbenstange unmittelbar an den Kurbelzapfen angehangen; es soll also den Kurbelkreis mit durchlaufen, während die untere Partie im Cylinder nur einen geradlinigen Gang haben kann. Die Bewegungsübertragung wird also nur unter der Bedingung möglich sein, daß der Cylinder selbst so weit nachgiebt, als die Seitenabweichung der Stange beträgt. Damit dies geschehen kann, hängt der Cylinder schwebend in zwei starken Zapfen, durch welche zugleich die Dampfwege hindurchgehen. Indem nun das Kolbenspiel wie gewöhnlich in dem Cylinder vor sich geht, muß dieser selbst der Kurbelbewegung sich anbequemen

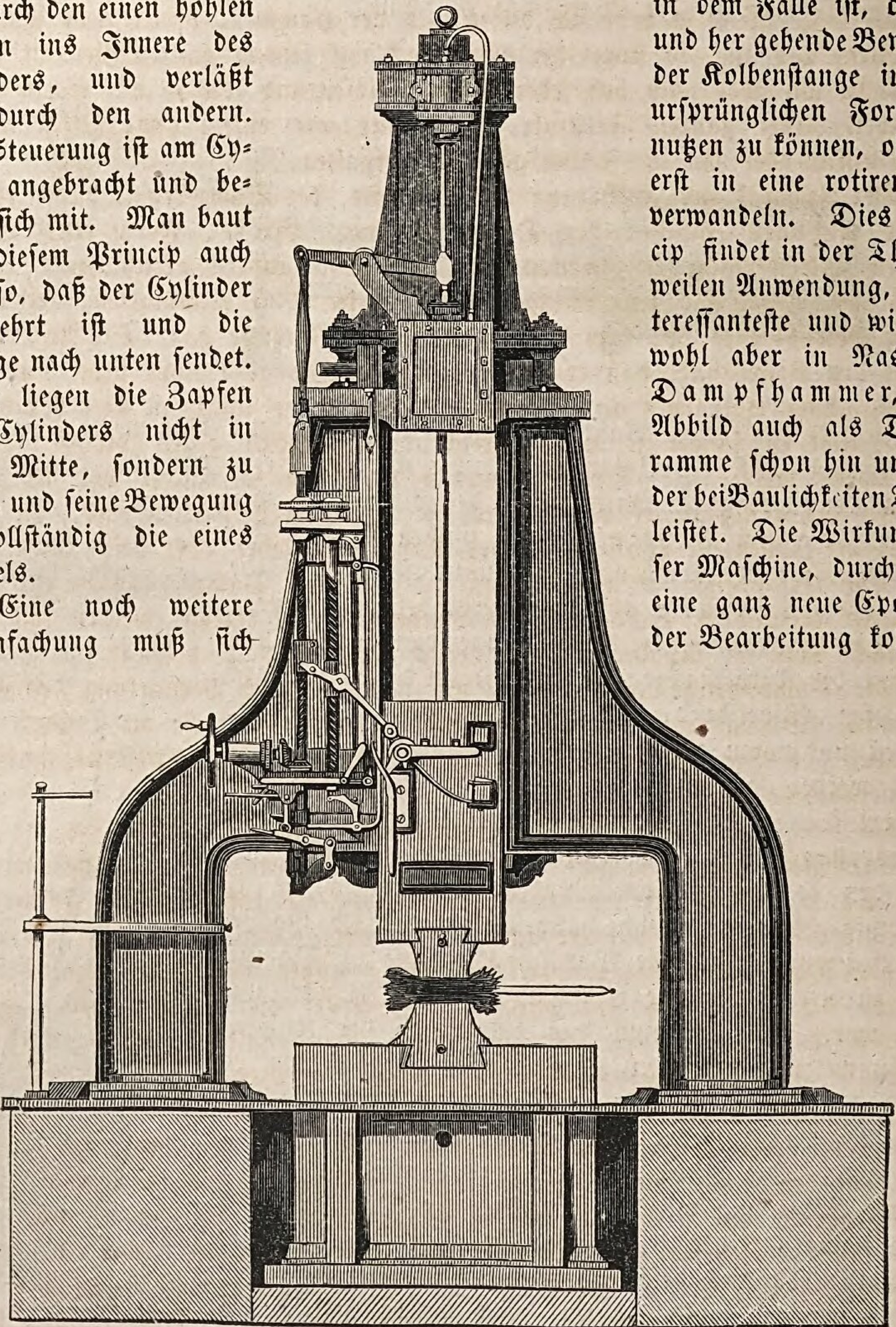
Fig. 174.



und bei jedem Umgange der Kurbelwelle einmal nach rechts, einmal nach links ausbiegen. Zur Geradehaltung der Stange ist auf dem Cylinder eine Führung befestigt, zwischen welcher zwei an der Stange sitzende Frictionsrollen laufen. Der Dampf tritt aus dem Kessel durch den einen hohlen Zapfen ins Innere des Cylinders, und verläßt ihn durch den andern. Die Steuerung ist am Cylinder angebracht und bewegt sich mit. Man baut nach diesem Princip auch wohl so, daß der Cylinder umgekehrt ist und die Stange nach unten sendet. Dann liegen die Zapfen des Cylinders nicht in seiner Mitte, sondern zu oberst, und seine Bewegung ist vollständig die eines Pendels.

Eine noch weitere Vereinfachung muß sich endlich ergeben, wenn man in dem Falle ist, die hin- und her gehende Bewegung der Kolbenstange in ihrer ursprünglichen Form benutzen zu können, ohne sie erst in eine rotirende zu verwandeln. Dies Princip findet in der That zuweilen Anwendung, die interessanteste und wichtigste wohl aber in Nasmyths Dampfhammer, dessen Abbild auch als Dampframme schon hin und wieder bei Baulichkeiten Dienste leistet. Die Wirkung dieser Maschine, durch welche eine ganz neue Epoche in der Bearbeitung kolossaler Eisenmassen herbeigeführt worden, ergiebt sich von selbst, wenn wir wissen, daß der Dampfcylinder mit dem Kolben die oberste Stelle einnimmt, die Kolbenstange

Fig. 175.



demnach abwärts geführt ist und an ihrem untern Ende ein viele Centner schwerer Eisenblock hängt, der als Hammer dient. Das kleinere Beiwerk dient zur Zu- und Ableitung wie zur Regulirung des Dampfes. Die richtige Dirigirung einer Handhabe genügt, um mit dem Hammer zu arbeiten. Wird der Dampf unter den Kolben gelassen, so hebt sich dieser und der Hammer; öffnet man ihm dann den vollen Ausgang, so stürzt der Eisenblock mit seinem ganzen Gewicht herab. Man kann ihn aber auch auf jeder Höhe auslösen und ihn so mit einem bloßen Bruchtheil seiner ganzen Fallkraft, selbst nur mit einem ganz leisen Drucke wirken lassen oder ihn im Fallen gänzlich aufhalten.

Der Apparat zur Erzeugung des Dampfes, der Dampfkessel, bildet ein besonders wichtiges Zubehör der Dampfmaschine. Größe, Form und Bauart desselben sind je nach den Zwecken und Umständen äußerst verschieden. Er besteht in der Regel aus zusammengenieteten starken Eisenblechplatten, selten aus Kupfer, obwohl dies vor dem Eisen verschiedene Vorzüge hat. Die Anforderungen an den Kessel sind, daß er eine hinreichende Menge Dampf gebe, und zwar mit möglichster Ersparniß an Brennmaterial; daß er nicht zu viel Raum einnehme, nicht zu schwer sei und hinreichende Garantien gegen die Gefahr des Zerspringens biete. Die Dampferzeugung muß um so rascher vor sich gehen, je größer die Heizfläche des Kessels, d. h. die Kesselpartien sind, bei denen sich auf der Innenseite Wasser, auf der Außenseite Feuer oder heiße Gase befinden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß für 1 Pfund Dampf, das in einer Minute unter möglichster Schonung des Brennmaterials erzeugt werden soll, eine Kesselfläche von 10 Quadratfuß erforderlich ist. Sonach bedingt die verlangte Kraft die Dampfmenge und diese die Heizfläche. Durch Verstärkung des Feuers kann man allerdings mit derselben Heizfläche das 2 — 3fache an Dampf erzeugen, aber das Brennmaterial wird hierbei weniger vortheilhaft ausgenutzt, es wird mehr Hitze in die Luft gejagt.

Als beste Form des Kessels in Bezug auf Haltbarkeit würde sich die Hohlkugel empfehlen, wenn sie nicht gerade von allen Formen die kleinste Heizfläche böte. Schon von Watt wurden daher verlängerte kofferähnliche Formen gewählt, die noch jetzt bei Niederdruckmaschinen vorkommen. Je höher die Spannung der Dämpfe getrieben wurde, desto mehr mußte man Ecken vermeiden und so wurde die Hauptform der Maschinendampfkessel die eines langen liegenden Cylinders, der auch an den Enden in der Regel halbkugelig abgerundet ist. Derselbe ist entweder ganz einfach und längs dem Boden und an den Seiten den Feuerzügen ausgesetzt, oder er hat 2 — 3 sog. Kochröhren, d. h. dünnere Cylinder, die neben einander im Feuer liegen und durch aufrechte kurze Zwischenröhren mit dem Hauptcylinder in Verbindung stehen, wodurch, freilich auf Kosten der Einfachheit, eine größere Heizfläche gewonnen wird. Bei einer andern Einrichtung ist der Feuercanal in den Cylinder selbst gelegt und zieht sich ebenfalls cylinderförmig am Boden desselben hin. Der Feuerraum befindet sich dabei selbstverständlich vor dem Kessel. Dieses Hindurchleiten der Flamme und heißen Luft durch die Wassermasse mittelst Röhren ist schließlich bei den Dampfkesseln der Locomotiven auf die Spitze getrieben worden, denn hier ziehen sich statt einer

wohl 100 von 1 Zoll und weniger Durchmesser durch den Kessel hin; die Heizfläche wird dadurch ersichtlich ungemein vergrößert und außerdem eine größere Sicherheit gewonnen, indem eine zu hohe Spannung der Dämpfe eher ein Bersten einer Siederöhre, die bald wieder zu ersetzen ist, als ein Springen des Kessels selbst zur Folge haben wird. Indeß sind Beispiele da, daß letzterer doch gesprungen ist, während die Siederöhren ganz blieben.

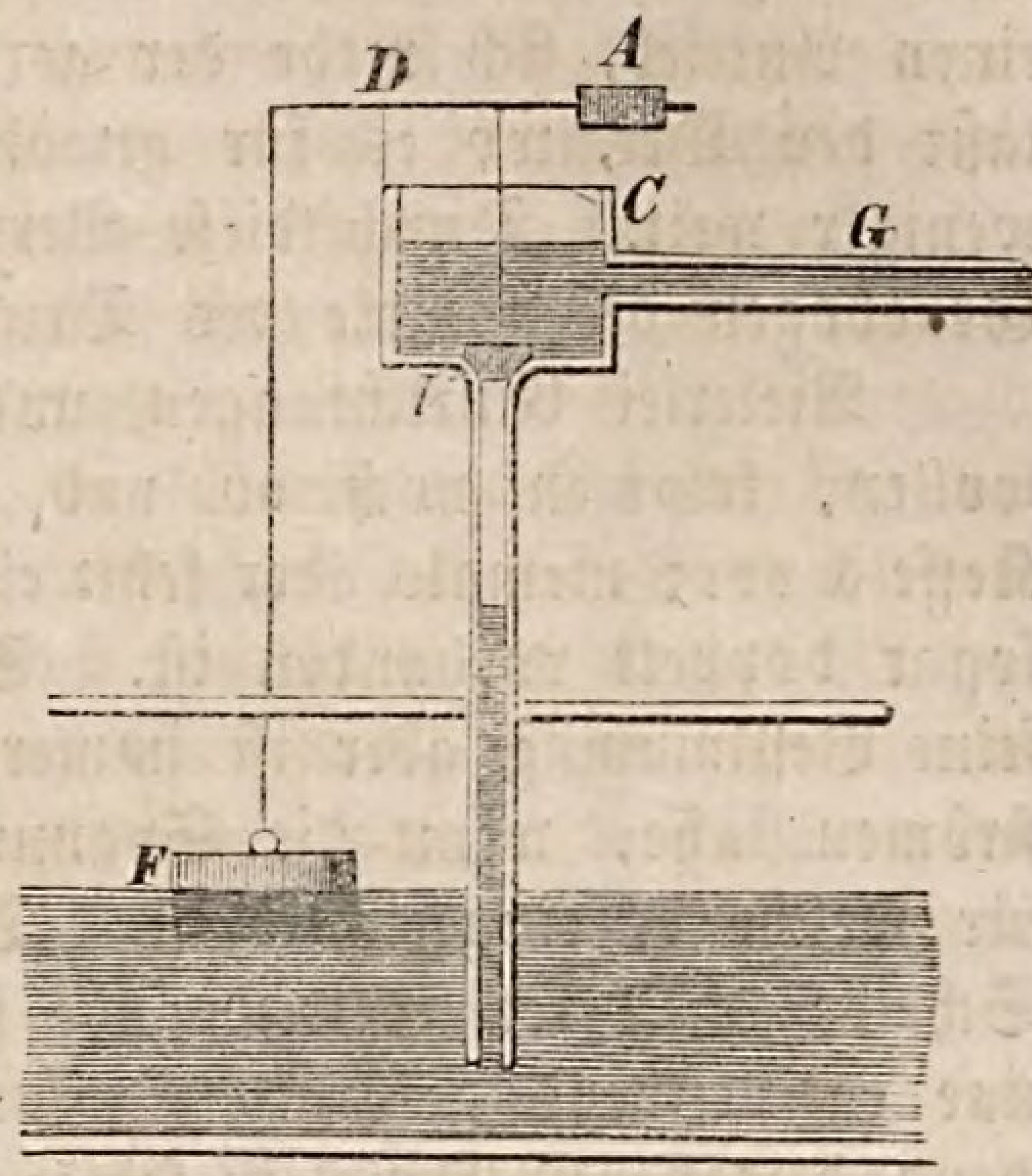
An jedem Dampfkessel muß sich eine Vorrichtung zum Speisen mit Wasser befinden, die so wirkt, daß das verdampfte Wasser möglichst in demselben Maße wieder ersetzt wird, also die Höhe des Wasserspiegels im Kessel sich nicht beträchtlich ändert. Denn sowohl ein zu hoher als zu tiefer Stand hat seine Nachtheile und Gefahren; im ersten Falle gelangt ein zu stark mit Wasser gemischter Dampf in die Maschine, wodurch das Spiel derselben gestört wird und eine Menge Wärme verloren geht; im zweiten Falle kann ein Theil der Kesselwandungen glühend werden, und wenn nachgehends wieder Wasser mit diesen Stellen in Berührung kommt, so liegt die Gefahr des Zerspringens nahe.

Um sich vom Stande des Wasserspiegels jederzeit überzeugen zu können, giebt es unterschiedliche Vorrichtungen. Eine der einfachsten besteht aus zwei übereinander angebrachten Hähnen. Giebt beim Probiren an denselben der untere Wasser und der obere Dampf, so ist die Sache in Ordnung; geben beide Dampf, so ist zu wenig Wasser, geben beide Wasser, so ist dessen zu viel im Kessel. Werden an denselben Stellen der Kesselwand, wo die Hähne stehen müßten, die zwei Schenkel einer wie eine Bauklammer gebogenen Glasröhre eingesetzt, so stellen sich in dem senkrechten Stück derselben Wasser und Dampf in demselben Verhältniß wie im Kessel selbst, und der Wasserstand kann mit einem Blick ersehen werden. Andere Vorrichtungen beruhen auf der Anwendung eines Schimmers, d. h. eines im Kessel schwimmenden Klotzes. Von diesem aus geht ein Draht durch die obere Kesselwand und setzt sich in einer Schnur oder Kettchen fort, das um eine Rolle geht und am andern Ende ein kleines Gegengewicht trägt. Letzteres hebt und senkt sich nun im entgegengesetzten Sinne wie der Schwimmer und läßt ebenfalls den Wasserstand sogleich erkennen.

Die Zuführung des Wassers in den Kessel geschieht bei Hochdruckmaschinen durch eine kleine von der Maschine selbst getriebene Druckpumpe ähnlich der bei der hydraulischen Presse. Sie muß natürlich mit solcher Kraft getrieben werden, daß die im Kessel vorhandene Spannung überwunden wird. Bei Niederdruckmaschinen dagegen kann aus einem höher gelegenen Behälter eine selbstthätige Speisung stattfinden, wie sie durch Fig. 176 veranschaulicht ist. Sie hat einen Schwimmer F, welcher sich mit dem Wasser im Kessel hebt und senkt. Von ihm geht ein Draht dampfdicht durch die obere Kesselwand, ist oben an einen Hebel D befestigt, der an seinem andern Ende ein Gegengewicht A hat. G ist der Zuflußcanal des Speisewassers, C ein Wasserkasten. Es ist leicht ersichtlich, daß wenn der Wasserspiegel und mit ihm der Schwimmer sinkt, der Hebel um seinen Drehpunkt D gedreht und dadurch das Ventil V gehoben werden wird, welches durch ein Stängelchen mit dem andern Hebelarm zusammenhängt. Es fließt nunmehr so lange Wasser in den Kessel, bis der Spiegel und Schwimmer

hoch genug steigt, um das Ventil wieder in sein Lager zu drücken und dadurch die Verbindung zwischen dem Kessel und der Speisevorrichtung aufzuheben. Wenn der Apparat gut und empfindlich genug construirt ist, so wirkt er nicht absatzweise, sondern das immer etwas gelüftete Ventil wird einen beinahe ununterbrochenen Zufluß gestatten, der gerade hinreicht, das verdampfte Wasser zu ersetzen.

Fig. 176.



Eben so wichtig wie die fortwährende Kenntniß des Wasserstandes im Kessel ist die des in demselben herrschenden Dampfdruckes, um darnach die Feuerung führen zu können. Die Vorrichtungen hierfür heißen Manometer und sind von verschiedener Einrichtung. Gewöhnlich läßt man den Dampf in ein heberförmig gebogenes Rohr treten, worin sich eine Quecksilbersäule befindet, welche durch ihren Stand den Druck im Kessel eben so anzeigt, wie das Barometer den Luftdruck. Bei Niederdruckmaschinen ist der eine Schenkel der Röhre oben offen, so daß auf der einen Seite der Dampf, auf der andern die Luft drückt. Ist z. B. im Kessel Dampf von 2 Atmosphären, so wird, weil eine Atmosphäre eine Quecksilbersäule von 28 Zoll im Gleichgewicht hält, das Quecksilber im offenen Schenkel 28 Zoll höher stehen als in dem andern; ständen dagegen beide Quecksilberspiegel auf einer Linie, so wäre nur Dampf von einer Atmosphäre Druck im Kessel. Wegen der Zerbrechlichkeit der Glasröhren macht man die Manometerröhren lieber von Eisen, und läßt, um den Stand der Quecksilbersäule zu wissen, ein Stückchen Eisen auf ihr schwimmen, von welchem aus ein Faden oben über eine Rolle läuft, an dessen anderm Ende ein kleines Gegengewicht herabhängt, das durch sein Auf- und Absteigen an einer Scala die Veränderungen des Dampfdruckes zu erkennen giebt. An Hochdruckkesseln würde die Quecksilbersäule sehr hoch werden müssen, um nicht herausgeschleudert zu werden. Hier hat man daher eine andere Einrichtung, bei welcher das Steigrohr von Glas und oben verschlossen ist. Ueber dem Quecksilber befindet sich ein lufterfüllter Raum und der Dampfdruck wird darnach bemessen, wie weit er vermittelst des Quecksilbers diese Luftmasse zusammenzupressen vermag. Ein Druck von zwei Atmosphären reducirt die Luft auf die Hälfte ihres gewöhnlichen Volumens, drei Atmosphären auf das Drittel u. s. w. Doch sind die Resultate mit diesem Manometer nicht so genau als mit der freien Quecksilbersäule. Wo man genauere Angaben braucht, muß man daher auch den Umstand in Anschlag bringen, daß auch das Quecksilber durch den Dampfdruck emporgehalten wird. Man thut dies, indem man für jeden Zoll der Säule $^1/_2$ Pfund Druck auf den Quadratzoll mehr rechnet.

Auf einem andern Princip beruhen die Metallmanometer. Ihren wesentlichen Theil bildet eine zusammengekrümmte Röhre von dünnem Kupferblech, die an dem untern Ende mit einem Dampfhahn in Verbindung steht, während ihr

oberes verschlossen ist. Die Röhre ist nicht rund, sondern flach zusammengedrückt, so daß ihr Durchschnitt etwa dem einer Säbelscheide gleicht. Wird der Dampf hier hineingelassen, so preßt er mehr oder weniger stark auf die beiden Wandungen und treibt sie dadurch etwas auseinander; die Röhre erhält dadurch einen Antrieb, sich mehr der geraden Form zu nähern und ihr freies Ende verläßt den Ort, wo es für gewöhnlich liegt, dem Drucke entsprechend, mehr oder weniger weit. Durch diese Verrückung wird ein Zeiger gedreht, der an einem Gradbogen die Stärke des Druckes angiebt.

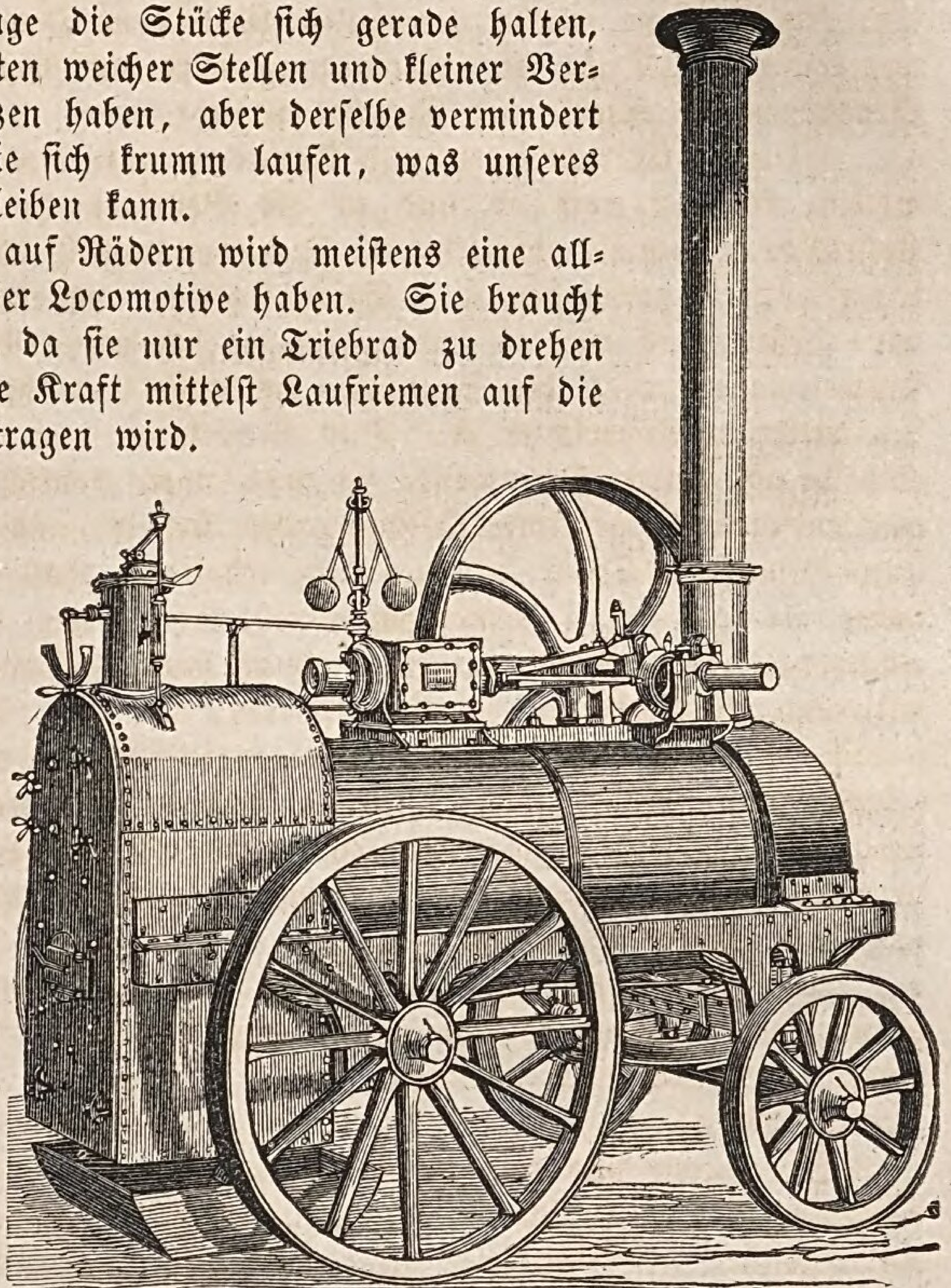
Vielerlei Einrichtungen und Formen, auf die wir nicht weiter eingehen wollen, kommen noch ab und zu als Beiwerke der Dampfmaschine und des Kessels vor; niemals aber fehlt ein Sicherheitsventil, daß bei größern Kesseln öfter sogar doppelt vorhanden ist. Seine Formen sind ebenfalls ziemlich verschieden, seine Bestimmung aber ist immer, daß es sich von selbst öffne und Dampf ausströmen lasse, wenn die Spannung im Kessel eine höhere werden sollte als die, für welche er eingerichtet ist. Das Sicherheitsventil, das gewöhnlich eine runde Scheibe ist, deren Seitenwände sich nach unten konisch verjüngen, schließt genau eine entsprechend geformte Oeffnung des Kessels, und wird durch einen entsprechend bemessenen Druck in seiner Lage erhalten. Soll z. B. die Spannung nicht höher als bis auf 4 Atmosphären gebracht werden, so wird die Belastung so eingerichtet, daß es sich bei einer etwas stärkern Spannung öffnet. Es gehört dazu eine Belastung von 3 Atmosphären, also für jeden Quadratzoll der Ventilfläche 42 Pfund, die 4. Atmosphäre giebt dann der äußere Luftdruck. Das erforderliche Gewicht wird entweder voll in mehreren Metallplatten auf das Ventil geschichtet, oder man läßt einen einarmigen Hebel auf dasselbe drücken, der in einem daneben befindlichen Scharnier hängt und dessen Arm mit einem verschiebbaren Gewicht beschwert ist.

Die Fläche des Sicherheitsventils muß der Maschine angemessen und so groß sein, daß wenn es sich einmal öffnet, auch wirklich so viel Dampf austreten kann als sich noch erzeugt, weil sonst trotzdem die Spannung noch höher werden würde.

Indem wir uns nun zur speciellen Betrachtung der populärsten Form der Dampfmaschine, nämlich der Locomotive wenden, wollen wir, gleichsam als Verbindungsglied zwischen dieser und den stehenden Dampfmaschinen eine transportable oder fahrbare Dampfmaschine zur Anschauung bringen, die von Pferden dahin gezogen werden kann, wo man gerade ihre Kraft benutzen will. Sie ist bei uns in Deutschland wohl noch eine Seltenheit, während sie in England und Amerika schon mehr Verbreitung gefunden, was sie wegen ihrer großen Nutzbarkeit in vielen Fällen auch verdient. Denn es leuchtet ein, daß sie bei Bauten und andern nur zeitweilig vorkommenden Arbeiten, für landwirthschaftliche u. a. Zwecke in vielen Fällen eine willkommene Hülfe leisten wird, zumal wenn sie wie in den genannten Ländern miethweise zu haben ist. In England macht man immer mehr Fortschritte in der Beackerung der Felder mit Dampfkraft, indem man vermittelst einer stehenden Dampfmaschine durch Zugseile und Rollen Sätze von Pflügen über ein Feldstück hin und herziehen läßt. Auch hat man

angefangen solche Maschinen dahin einzurichten, daß sie durch eigene Kraft sich über die Felder hin bewegen. Es geschieht dies durch Ausführung der alten Idee, daß man den Rädern gleichsam ihre eigene Eisenbahn mitgiebt, indem eine endlose Kette von Schienenstücken oder Radschuhen sich um jedes Rad schlingt und ein Stück nach dem andern sich den Rädern vorlegt. So lange die Stücke sich gerade halten, können sie zum Ueberschreiten weicher Stellen und kleiner Vertiefungen schon ihren Nutzen haben, aber derselbe vermindert sich in dem Maße, wie sie sich krumm laufen, was unseres Erachtens gar nicht ausbleiben kann.

Fig. 177.



Die Dampfmaschine auf Rädern wird meistens eine allgemeine Aehnlichkeit mit der Locomotive haben. Sie braucht indeß nur einen Cylinder, da sie nur ein Triebrad zu drehen hat, von welchem aus die Kraft mittelst Laufriemen auf die zu treibenden Werke übertragen wird.

Die Locomotive oder der Dampfwagen ist nun im Grunde weiter nichts als eine compendiös gebaute und auf Räder gesetzte kräftig wirkende Dampfmaschine, welche dadurch, daß sie auf diese Räder umdrehend wirkt, sich selbst fortschiebt und die ihr angehängte Last nach sich zieht. Sie unterscheidet sich von den stehenden Maschinen hauptsächlich dadurch, daß sie 1) stets mit Hochdruck und ohne Condensation arbeitet; 2) daß sie kein Schwungrad, dagegen zwei Dampfcylinder hat, deren Kolbenstangen auf eine und dieselbe Axe drehend wirken; 3) daß der Kessel der Locomotive der größern Heizfläche halber mit einer großen Anzahl Sieteröhren durchzogen ist; 4) daß der Luftzug durch Einströmen des abziehenden Dampfes vermehrt wird, und 5) endlich daß die Locomotive einen sehr veränderlichen Widerstand mit sehr veränderlicher Geschwindigkeit zu überwinden hat.

Die Locomotive besteht zunächst aus dem Untergestell, dem Wagen, der einen sehr starken Rahmen bildet, auf und an welchem sich alle Maschinentheile befinden. Dieser Wagen hat, je nach der Größe der Locomotive, entweder vier oder sechs Räder, von denen die zwei größern die eigentlichen Treibräder sind, während die anderen, kleineren, nur Laufräder, zur Unterstützung der Last und

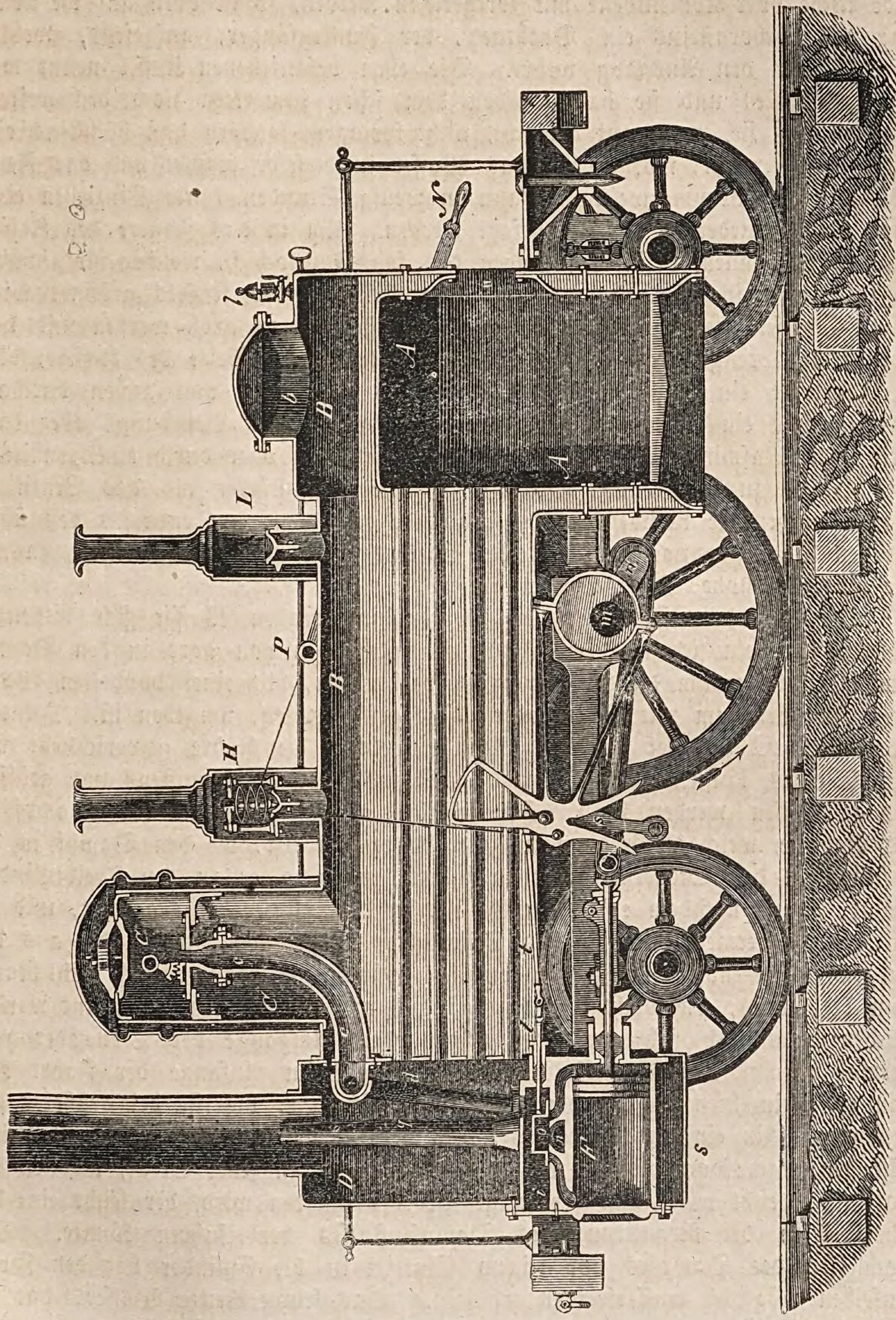
zur Vermehrung der Reibung der Locomotive auf den Bahnlinien dienen. Die Treibräder sind darum größer, weil von ihrem Durchmesser die Schnelligkeit der Bewegung zum Theil abhängt. Die Maschine ist nämlich so eingerichtet, daß auf ein vollständiges Kolbenspiel derselben allemal ein Umlauf der Räder kommt. Hat nun ein solches Rad 12 Fuß im Umfange, so wird diese Locomotive bei einem Kolbenspiele 12 Fuß fortschreiten; hat aber das Rad 18 Fuß im Umfange, so wird auch die Fortschreitung 18 Fuß betragen, mithin, bei gleich raschem Kolbenschlage, die Bewegung der letztern Locomotive um ein Drittel schneller sein als die der erstern. Die Treibräder sind vollkommen cylindrisch, während die Laufräder am Rande etwas abgeschrägt sind und an der nach der Maschine zugekehrten Seite einen vorspringenden Rand haben, wodurch das Abweichen von den Schienen vermieden wird. Alle Räder sind an den Achsen fest, welche sich in besonderen Achsenlagern bewegen. Außerdem ist das Gestell durch Verbindungen und Bolzen und Beschläge von Eisenblech unverrückbar fest gemacht.

Auf diesem Gestell hängt in Federn der Kesselbehälter oder der eigentliche Körper der Maschine. Derselbe besteht, wie die vorstehende Figur zeigt, aus drei vollkommen fest mit einander verbundenen Theilen, dem Feuerraum A, dem Kessel B, und dem Rauchkasten D mit dem Schornsteine. Alle bewegenden Theile der Maschine liegen theils unter, theils neben dem Maschinenkörper und dem Rahmen.

Den Feuerraum bildet ein viereckiger Kasten A mit doppelten Wänden, deren Zwischenraum mit Sand oder Asche (schlechten Wärmeleitern) ausgefüllt ist und der unten einen Rost, vorn aber die nöthigen, mit Thüren verschlossenen Zug- oder Schürlöcher hat. Unterhalb des Rostes befindet sich der Aschenkasten, der nach der vordern Seite offen ist, um während der Bewegung der Locomotive die Luft aufzufangen und in einem starken Zuge durch das Feuer zu leiten. Das Feuer selbst befindet sich also, wie man auf den ersten Blick sieht, bei der Locomotive nicht unter dem Kessel, sondern hinter demselben und wird auf eine besondere Art durch den Kessel und das darin befindliche Wasser geleitet. Der Kessel B selbst nämlich bildet einen hohlen Cylinder von Eisenblech, welcher die ganze Länge zwischen dem Feuerungsraume und dem Rauchkasten ausfüllt und mit einem Mantel von Holz umgeben ist. Die beiden Eisenplatten, welche den Kessel vorn und hinten verschließen, sind aber dergestalt durchbohrt, daß die 1¼ — 2 Zoll im Durchmesser haltenden Löcher einander genau gegenüberstehen und allemal ist zwischen zwei solchen Löchern eine starke Messing- oder Kupferöhre durch die ganze Länge des Kessels gezogen und in den Löchern dampfdicht festgekittet. Da nun in jeder Endplatte sich 60 — 120 solcher Löcher befinden, so durchziehen auch 60 — 120 der eben erwähnten messingenen Röhren den mit Wasser gefüllten Kessel, und da diese Röhren an beiden Seiten offen sind, so kann das Feuer und die Hitze das Wasser durchströmen und zum Kochen und Verdampfen bringen. Man sieht sogleich, daß durch diese Einrichtung die Heizfläche des Kessels eine bedeutend größere Ausdehnung erhält und daß dadurch die Dampferzeugung um so viel

rascher von statten gehen muß. Haben das Feuer und der Rauch aus dem

Fig. 178.



Durchschnitt einer Locomotive.

verbrannten Heizmaterial den Weg durch den Kessel gemacht, so gelangen

dieselben in die Rauchkammer, von wo aus der Rauch durch den Schornstein von Eisenblech ins Freie geleitet wird. Da öfter auch noch Funken und glühende Asche oder Kohlentheile mit fortgerissen werden, so ist oben auf die Mündung des Schornsteins ein Drahtnetz, der Funkenfänger, aufgesetzt, welcher diesen Funken den Ausgang wehrt. Die eben beschriebenen Kessel nennt man Röhrenkessel und sie haben neben dem schon bemerkten noch den weitern Vortheil, daß sie, wenn gut gemacht, nicht springen, sondern daß höchstens eine innere Röhre platzt, worauf sich das Wasser in dieselbe ergießt und das Feuer auslöscht; die Locomotive kann dann in wenig Stunden durch Einziehen einer neuen Röhre wieder in Stand gesetzt werden. Um in das Innere des Kessels gelangen zu können, befindet sich oben das sog. Fahrloch b, welches für gewöhnlich luftdicht geschlossen ist und nur beim Reinigen des Kessels geöffnet wird. Damit indessen die Kraft der Dämpfe im Kessel nie zu groß werden und denselben etwa sprengen könne, befindet sich auf der obern Seite des Kessels, dicht am Fahrloche ein Sicherheitsventil L. Dies Ventil ist von außen durchaus unzugänglich, ein zweites Ventil H steht unter mittlerer Belastung, aber kann durch den Maschinenwärter geöffnet und geschlossen oder durch einen, mittelst eines Hebels zu bewirkenden Druck mehr (nie aber stärker als das Ventil L) belastet werden, je nachdem es die Umstände erfordern, um entweder den überflüssigen Dampf entweichen zu lassen oder dem Dampfe zu gewissen Zwecken eine möglichst hohe Spannung zu geben.

Die aus dem siedenden, die Röhren umgebenden Wasser sich bildenden Dämpfe sammeln sich in dem Raume B und gehen von dort in den Dampfdom C, welcher, um die Abkühlung zu verhindern, mit einer doppelten Wand, deren Zwischenraum mit Sand oder Asche gefüllt wird, umgeben ist. In dem Dampfdom C befindet sich das Ventil, welches die Röhre e verschließt und mittelst eines langen Hebels von dem Stande des Maschinisten aus geöffnet und geschlossen werden kann. Ist dasselbe offen, so strömt der Dampf in das Rohr c, welches sich dann in zwei Arme d theilt, die den Dampf in den Kasten i zu den Steuerungsventilen führen, von wo er zu den Treibcylindern kommt, dann, nachdem er ausgenützt ist, in das Blaserohr q geleitet, und um den Zug zu vermehren, durch den Schornstein ausgeblasen wird. Die aus dem Schornstein tretenden Wolken sind demnach größtentheils Wasserdampf, nicht Rauch, denn die Coaks, die doch fast durchgängig auf Eisenbahnen gebrannt werden, rauchen bekanntlich fast gar nicht. Bei jedem Umgange der Treibräder wird viermal Dampf aus dem Cylinder gestoßen. Beim Anfange der Fahrt kann man diese einzelnen Puffe noch deutlich unterscheiden, bis sie bei größerer Geschwindigkeit in ein fortgesetztes Geräusch verschwimmen. Bei neuern Maschinen steht der Dampfdom an der Stelle von b und b an jener Stelle, wodurch der Vortheil erreicht wird, daß der lange Hebel vermieden wird, der leicht eine Unsicherheit in der Regulirung des Dampfzuflusses herbeiführen könnte. Das Hochleiten des Dampfes vor seinem Eintritt in die Cylinder hat den Zweck, denselben möglichst wasserfrei zu erhalten. Das feinvertheilte Wasser, das der Dampf beim Austreten aus der Flüssigkeit mit sich reißt und das in den

Cylindern sehr unbequem sein würde, schlägt sich so größtentheils wieder nieder, ehe der Dampf in das Zuführrohr gelangt. Uebrigens verdichtet sich, wenn die Maschine außer Gebrauch gesetzt wird, der in den Cylindern, Dampfbüchsen und Rohren zurückbleibende Dampf allemal zu Wasser, was auch mit dem zuerst in einzelnen Stößen wieder eintretenden Dampfe theilweise der Fall ist, so lange die Maschinentheile noch nicht erhitzt sind. Zur Wegschaffung dieses Niederschlagwassers sind zwei besondere Ventile vorhanden, die an der Fronte der Locomotive ausmünden und durch welche der Dampf, wenn sie gezogen werden, die Wassertheile hinausfegt. Der im Kessel überflüssige Dampf kann außerdem noch durch Oeffnung von Ventilen bei N, oder aus dem Blaserohr q ausgelassen oder hinter in den Tender geleitet werden, wo er in das zur Speisung der Locomotive dienende Wasser fährt und dieses vorläufig erwärmt.

Der Bewegungsmechanismus an der Locomotive ist nach dem uns bereits Bekannten von selbst verständlich, da über den Cylinder mit der Steuerung und dem daraus resultirenden Kolbenspiel, über die in der Stopfbüchse gehende Kolbenstange und die Umwandlung ihrer hin und hergehenden Bewegung mittelst der Kurbel in eine rotirende schon das Nöthige angeführt ist. Die Führung der Kolbenstange und ihr Zusammenhang mit der Kurbel durch eine Lenkstange ist in Fig. 173 ersichtlich.

Die Steuerung ist für jeden Dampfcylinder besonders vorhanden und wird von der Treibaxe aus mittelst Excentrics bewirkt. Um die Locomotive nach Bedürfniß vor und rückwärts gehen zu lassen, sind für jeden Cylinder zwei Excentrics da, die in entgegengesetzter Richtung zu einander stehen. Die Schiebstangen dieser zweiten Excentrics sind vorerst außer Verbindung mit den Führungsstangen der Steuerungen; soll aber die Locomotive rückläufig werden, so werden durch Druck auf einen Hebel die arbeitenden Schiebstangen ausgelöst und an ihre Stelle die der entgegengesetzten Excentrics in Eingriff gebracht.

Cylinder und Kolbenstange haben eine horizontale, an neuern Maschinen auch zuweilen eine nach den Rädern zu geneigte Lage. Bei den ältern Locomotiven liegen die Treibcylinder innerhalb der Räder, also u n t e r dem Kessel, und die Lenkstangen hängen mit Kurbeln zusammen, welche in dem Körper der Radaxe selbst in der Weise ausgeschmiedet sind, wie es die beiden Wellen in Fig. 114 zeigen. Bei den neuern Locomotiven sind die Cylinder außerhalb der Räder angebracht und die Kurbeln beseitigt, indem die Kurbelwarze, der Anhängepunkt der Lenkstange, gleich an einer Speiche des Treibrades angesetzt ist. Hierdurch ist der Treibaxe die einfache Wellenform wiedergegeben, was in Hinsicht der Haltbarkeit nur vortheilhaft sein kann. Die Kurbeln auf der Axe bildeten mit einander einen rechten Winkel und auch bei der neuern Einrichtung sind die Kurbelwarzen in gleichem Sinne auf den Radspeichen postirt. Hieraus folgt, daß wenn ein Kolben sich am Ende seines Weges befindet, der andere eben durch die Mitte des Cylinders geht und daß also die Welle immer wenigstens von einer Seite her die volle Kraft empfängt. Erinnert mag hierbei nochmals werden, daß unter allen Umständen die Treibräder unbeweglich auf ihrer Axe sitzen und letztere an der Umdrehung theilnimmt.

Das Verhalten der Treibräder der Locomotive ist ein ganz anderes als

das der übrigen Räder des Zuges. Während die letztern sich nur deshalb drehen, weil der Wagen über ihnen weggezogen wird, also, wie man zu sagen pflegt, passiv sind, stemmen sich die zwei Haupträder der Locomotive ähnlich wie die Beine des Zugpferdes gegen den Boden und bewirken so, da sie durch ihre Umdrehung zugleich die Angriffspunkte immer weiter vorwärts verlegen, das Fortgehen des Zuges. Natürlich wächst mit der Steigung der Bahn, wie auch mit der Schwere des zu transportirenden Zuges, die Möglichkeit des bloßen Gleitens der Triebräder, wobei der Zug nicht von der Stelle käme. Daher müssen Locomotiven, die große Lasten ziehen oder große Steigungen überwinden sollen, nicht allein stärkere Maschinen, sondern auch ein größeres Eigengewicht haben, damit sie hinreichend stark auf die Schienen drücken, um den Angriff nicht zu verlieren. Nun hat aber die anwendbare Größe doch auch ihre Grenzen, daher man in solchen Fällen durchgehends noch ein anderes in demselben Sinne wirkendes Mittel anwendet, und dies besteht darin, daß man mit den beiden Treibrädern noch zwei, zuweilen auch vier andere zunächst befindliche verkuppelt. Dies geschieht mittelst starker Zugstangen, die horizontal an den Speichen beider Räder angebracht sind und den Bewegungen derselben folgen müssen. Die Bestimmung dieser Verbindungsstangen ist nun keine andere, als die ursprünglich passiven Räder in active oder Treibräder zu verwandeln. Denn dadurch, daß sie nun genau der Bewegung der eigentlichen Treibräder folgen müssen, wirken sie eben eingreifend wie diese auf die Schienen, die Maschine stemmt sich nun gleichsam mit 4 oder 6 Beinen gegen den Boden, wodurch allerdings nicht die Zugkraft gesteigert, wohl aber die Reibungsstellen vermehrt werden und eine um so viel größere Sicherheit gegen das Gleiten gegeben ist. Hauptsächlich durch das Mittel der Räderkuppelung werden aber auch jetzt Steigungen überwunden, die man früher für ganz unmöglich gehalten hatte. Denn während man ein Steigungsverhältniß von 1 auf 100 lange Zeit für das höchstmögliche hielt, giebt es jetzt im Würtembergischen und auf der Semmering-Bahn Strecken, auf denen eine Steigung von 1 auf 40 überwunden wird. Bei den Locomotiven der genannten Bahn sind aber auch sogar die beiden Axen der Tender mit den drei Axen der Maschine verkuppelt. Uebrigens hat man dort die gewöhnlichen Schubstangen beseitigt und eine Räderkuppelung eingeführt. An jeder Axe ist ein Zahnrad und zwischen je zwei Axen ein Zwischenrad.

Verkuppelte Räder haben gleiche Winkelgeschwindigkeit, gleich als wenn sie auf einer und derselben Axe säßen. Da sie nun miteinander dieselben Räume zu durchlaufen haben, so folgt daraus, daß sie gleiche Größe haben müssen, und daß man ungleich große Räder nicht kuppeln kann.

Starke Krümmungen der Bahn sind begreiflich eben so wie starke Steigungen unerwünscht, da die Gefahr herausgeschleudert zu werden um so größer ist, je kleiner der Halbmesser der Krümmung. Doch hat man auch hierin in neuester Zeit vieles ermöglicht, was früher unthunlich schien. Man hilft sich hierbei theils durch Höherlegen des äußern Schienenstranges, theils durch verschiedene Vorrichtungen an den Axen der Locomotive, wodurch diese leichter aus einer Richtung in die andere überzugehen vermögen. Während man vor

40 Jahren noch jede Krümmung zu vermeiden suchte, legt man dieselben jetzt sogar in Brücken, wenn es nicht anders geht.

Wie schon bemerkt, hat jeder Hin- und Hergang der Kolben einen Umlauf der Locomotivräder zur Folge und es hat also der Dampfkessel für jeden Umlauf 4 Cylinder voll Dampf zu liefern. Hiernach läßt sich berechnen, wie viel in einer gegebenen Zeit, bei einer gewissen Geschwindigkeit des Zuges, an Dampf verbraucht wird. Je weniger Spannung der Dampf hat, desto mehr nimmt er Raum ein und desto schneller werden also die Cylinder gefüllt sein. Daher erhält man mit demselben Kessel unter Anwendung einer geringern Spannung eine größere Anzahl Kolbenspiele und mithin eine größere Geschwindigkeit als bei hoher Spannung; aber der Druck des Dampfes auf den Kolben ist im ersten Falle begreiflich geringer als im andern, daher auch die Zugkraft der Locomotive schwächer. Je größer die zu ziehende Last ist, desto höher muß die Spannung genommen werden, die sich indeß in der Praxis nicht über 6 Atmosphären treiben läßt, weil dann die Reibung der Treibräder an den Schienen überwunden wird und keine Fortbewegung mehr möglich ist. Zur Fortschaffung sehr schwerer Züge nimmt man daher bekanntlich mehrere Locomotiven. Ist der zu überwindende Widerstand bekannt, so weiß man wie viel Kraft die Kolben entwickeln müssen und welche Dampfspannung dazu gehört. Daher kann jederzeit bestimmt werden, wie viel Dampf von einer bestimmten Spannung der Kessel erzeugen muß, damit die Maschine eine bestimmte Last mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortziehe. Was eine Maschine in dieser Hinsicht leisten kann, ist schon beim Bau derselben festgesetzt. Es ist übrigens, obwohl in der Theorie einerlei, doch in der Praxis nicht gleichviel, ob man eine und dieselbe Dampfmenge unter geringer oder starker Spannung verbraucht; der mechanische Effect ist im letztern Falle um deshalb größer, weil die Differenz des Druckes vor und hinter dem Kolben nicht dieselbe bleibt, sondern der Widerstand des verbrauchten Dampfes bei geringerer Spannung der Kolbenbewegung hinderlicher ist als bei starker. Die Kraft, welche eine Dampfmaschine entwickeln kann, hängt sonach schließlich davon ab, wie viel Dampf der Kessel zu erzeugen vermag, vorausgesetzt, daß die Maschine geeignet ist, den Dampf auch zu verarbeiten. Nun darf aber der Kessel nicht zu groß und schwer sein, auch kann man ihm keinen hohen Schornstein geben wie den stehenden Maschinen, muß also überall in viel engern Grenzen sich halten, und auf sehr kleinem Raume ein sehr intensives Feuer und eine mächtige Verdampfung zu unterhalten suchen. Die Mittel hierzu sind möglichste Vergrößerung der Heizfläche und Verstärkung des Zuges. In Bezug auf das Erstere sprachen wir schon von der großen Anzahl der Sieveröhren, welche den Kessel der Länge nach durchziehen; es muß aber auch noch bemerkt werden, daß das Feuer so zu sagen im Kessel selbst brennt, denn der Feuerraum, in dem zu unterst der Rost liegt, wird seitlich und oben von Doppelwänden gebildet, die eine Fortsetzung des Kessels ausmachen, so daß sich zwischen ihnen ebenfalls Wasser befindet, das hier in nächster Nähe der stärksten Hitze ausgesetzt ist. Die Innenflächen dieses Feuerraumes und der Sieveröhren bilden zusammen die Heizfläche des Kessels. Wie der Zug durch

Ausblasen des Dampfes in den Schornstein befördert wird, ist bereits erwähnt worden; es wirkt aber dieses Mittel so kräftig, daß eine Locomotive bei gewöhnlicher Geschwindigkeit circa 5mal so viel Dampf erzeugt als wenn sie stillsteht, da im letztern Falle natürlich gar kein Dampf in den Schornstein tritt.

Der Widerstand, den eine Locomotive auf ganz horizontaler Bahn zu überwinden hat, besteht in der Reibung sämmtlicher Räder des Zuges auf der Bahn und in den Axen, der Reibung in den Maschinentheilen und dem Widerstande der Luft. Setzt man diese Widerstände zu $^1/_{200}$ der Gesammtlast an, so würden 10 Pfund Kraft nöthig sein um eine Tonnenlast (20 Centner) auf einer ebenen Bahn fortzuziehen. Man setzt indeß dieses Kraftquantum auch auf 9 oder 8 Pfund. Bildet aber die Bahn eine schiefe Ebene, so wächst die zum Aufwärtsfahren erforderliche Kraft sehr rasch. Bei einer Steigung von 1 Procent muß im Verlaufe von 100 Fuß die ganze Last um 1 Fuß gehoben werden; eine Tonnenlast strebt daher jeden Augenblick mit einer Kraft von 20 Pfund rückwärts zu fallen und es gehört zu ihrer Fortbewegung nunmehr, die Reibungswiderstände zu 10 Pfund genommen, schon die Kraft von 30 Pfund bei 2 Procent Steigung 50 Pfund u. s. w. Sonach ist auf einer schiefen Ebene, welche dem Auge kaum als solche erscheint, schon die Verfünffachung der Zugkraft nöthig; bei noch stärkerer Steigung gelangt man denn bald dahin, daß höchstens die Locomotive selbst noch die Anhöhe ersteigen, aber keine Last mitnehmen könnte. In der Praxis hat man wie erwähnt die Steigung bis auf $^1/_{40}$ oder $2^1/_4$ Procent gebracht; steilere Anhöhen werden durch stehende Dampfmaschinen mittelst Zugketten überwunden.

Das **Dampfschiff** kam noch etwas früher in Gang als die Locomotive: das erste gang- und brauchbare Boot war das von Fulton 1807 in Newyork gebaute. Anfänglich war wenig Aussicht vorhanden, dieses neue Verkehrsmittel jemals anders als auf Flüssen, kleinen Seen und zur Küstenfahrt benutzen zu können, denn wie sollte man große Meere zu durchschneiden hoffen, da die hierzu nöthigen Kohlen anscheinend allen Raum im Schiffe in Anspruch nehmen mußten, wenn er anders zugereicht hätte. Dieses Bedenken hatte seinen Grund, so lange man kleine Schiffe im Auge hatte; man versuchte es aber allmählig mit größern und es ging immer besser, je größere Schiffe man nahm. Die Dampfkraft nämlich, welche ein Schiff von 1000 Tonnen Gehalt zu seiner Forttreibung bedarf, beträgt durchaus nicht das Fünffache von der, welche ein Schiff von 200 Tonnen erfordert, sondern wesentlich weniger. Der Widerstand, den ein Schiff im Wasser findet, wächst mit der zunehmenden Größe desselben quadratisch; er steht im geraden Verhältniß mit der Stoßfläche des Schiffes, d. h. mit der Fläche seines größten senkrechten Durchschnittes, so weit es ins Wasser taucht. Der Tonnengehalt, die Ladungsfähigkeit dagegen wächst kubisch, denn der Raum wird nach allen Richtungen größer. Je größer also ein Schiff, desto weiter kann es fahren ohne Kohlen einzunehmen, und desto billiger wird die Fracht. Seit 1838, wo der erste Dampfer über den Ocean fuhr, haben sich demzufolge die Seedampfschiffe fort und fort vergrößert.

Die gegenwärtig gebräuchlichen Dampfer sind entweder Räder- oder Schrau-

benschiffe, und die letztern sind von verhältnißmäßig neuem Datum. Bei beiden hat die Dampfmaschine keine andere Aufgabe, als eine Welle zu drehen, und sie thut es mit denselben Mitteln, ist überhaupt dieselbe Maschine wie zu Lande, obwohl die besondern Umstände auch hier sehr viele Modificationen in ihrer Bauart bedingt haben. Bei den Räderschiffen liegt die Welle quer durchs Schiff, und trägt an ihren beiden Enden die zwei auf ihr befestigten Räder, welche unterschlächtigen Wasserrädern mit geraden Schaufeln ganz ähnlich sind. Indem diese Schaufeln bei ihrem Durchgange durchs Wasser sich mit ihren Flächen gegen das Wasser stemmen, wird das Schiff in der entgegengesetzten Richtung fortgerudert. Es ist leicht ersichtlich, daß die nahezu senkrecht gerichteten Schaufeln hierbei das Meiste wirken müssen, während die schräg ein- oder austretenden in dem Sinne auf das Wasser wirken, als wenn das Schiff vorn gehoben, hinten niedergedrückt werden sollte. Insofern sind die Ruderräder unvollkommene Behelfe, welche einen Theil der Kraft unnütz aufwenden. Indeß haben die Versuche, diesem Uebelstande abzuhelfen, bisher zu keinem praktischen Resultate geführt. Es läßt sich unschwer eine Einrichtung denken, vermöge welcher die Schaufeln ihre Stellung zum Radius verändern, so daß sie kantig ins Wasser treten und dasselbe ebenso verlassen, während sie in der Mitte ihrer Eintauchung mit der vollen Fläche gegen das Wasser drücken; aber eben so leicht läßt sich einsehen, daß wenn man diese so sehr in Anspruch genommenen Theile beweglich machen und mit beweglichen Vorrichtungen wie Zugstangen u. dgl. verbinden wollte, man mit den Reparaturen kaum jemals fertig werden würde.

Die frühern Dampfboote versah man mit einer einfachen Maschine mit Balancier und Schwungrad, ist aber jetzt der gleichförmigern Bewegung halber allgemein dahin gekommen, die Welle durch zwei Maschinen drehen zu lassen, welche gerade unter ihr stehen. Die Position der beiden Krummzapfen auf der Welle ist aus derselben Ursache dieselbe wie bei den frühern Locomotiven. Die Maschinen der Dampfschiffe arbeiten größtentheils mit Niederdruck und Condensation, nur auf amerikanischen Flüssen giebt es auch Hochdruckmaschinen.

Die Rücksicht auf Raumersparniß hat mancherlei Abweichungen der Schiffmaschinen von den Landmaschinen hervorgerufen. Da der Balancier in der Höhe zu viel Raum erfordert, so ist er meist durch andere Einrichtungen ersetzt, und ist überhaupt nur bei den Räderschiffen anwendbar, da deren Welle immer noch ziemlich hoch liegt. Im Fall seiner Anwendung liegt er jedoch unter dem Cylinder, die Kolbenstange endigt oben in einem Querstück, an dessen Enden die Stangen einer Parallelführung angebracht sind, die nach unten geht und da mit dem Balancier zusammenhängt. Vom andern Ende desselben ist dann die Kurbelstange aufwärts nach der Räderwelle geführt. Die Cylinder der Schiffmaschine sind in der Regel so kurz, daß ihr Durchmesser größer ist als ihre Höhe; die Kolben haben daher einen kleinern Spielraum und die Kurbelarme eine geringe Länge. Der Condensator, die Steuerung und die übrigen Theile zeigen weniger Abweichungen. Einen Regulator giebt es nicht, da auf den stets gleichförmigen Gang der Maschinerie nicht so viel ankommt. Die Kesselformen sind sehr mannichfaltig; im Allgemeinen sind sie entweder Röhrenkessel, ganz ähnlich denen der Locomotiven, oder solche mit

flachen Zügen, welche mehrmals im Innern des Kessels hin und hergeführt sind. Gewöhnlich hat man für größere Reisen statt zwei Kesseln deren drei, damit immer einer gereinigt werden kann, was bei der Nothwendigkeit, die Kessel mit Seewasser zu speisen, noch viel nöthiger ist als bei Landmaschinen. Um salzige und erdige Niederschläge nicht so leicht aufkommen zu lassen, ist es übrigens allgemein gebräuchlich, aus dem tiefsten Theile des Kessels, wo das salzhaltigste Wasser seiner Schwere wegen sich befinden muß, von Zeit zu Zeit etwas abzuzapfen oder heraus zu pumpen.

Um dem Leser auch einen Begriff von dem Größenverhältniß des Dampfkessels auf großen Schiffen zu geben, wollen wir ihm nebenstehend einen solchen im Bilde vorführen, wie er eben in Arbeit begriffen ist und seiner Vollendung entgegengeht. Es ist eine der ältern Formen mit größern Feuerzügen. Zu bemerken ist hierbei nur, daß sowohl das Durchlochen der Platten durch Maschinen geschieht, und daß die Löcher nicht gebohrt, sondern mittelst Hebelkraft durchgedrückt werden, als auch, daß das Festschlagen der Nieten nur an den unzukömmlichsten Stellen von Menschenhand, übrigens aber und zwar größtentheils ebenfalls mittelst Druck durch eine Maschine geschieht, die wir später noch kennen lernen werden.

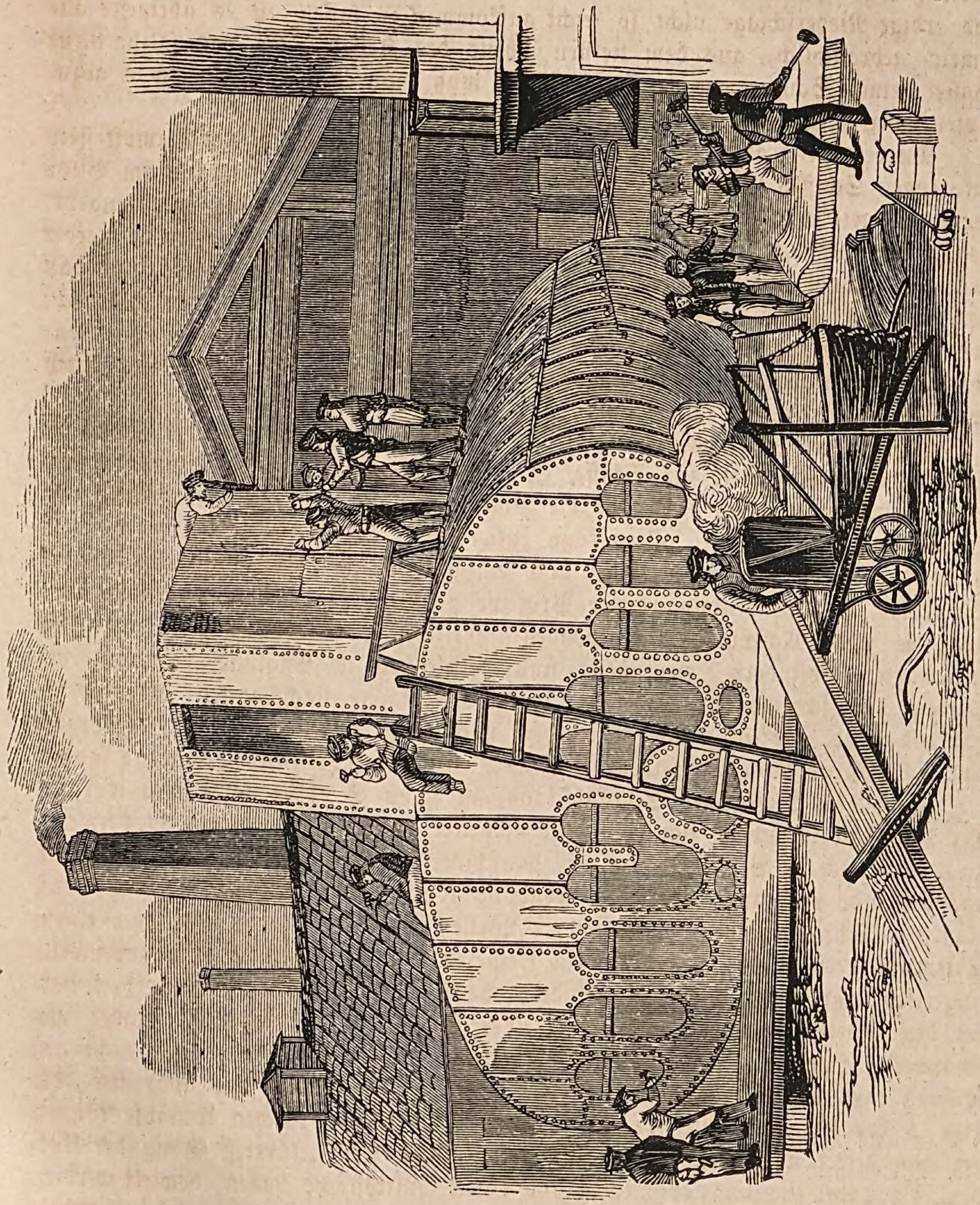
In neuerer Zeit, besonders seit der allgemeinen Einführung der Schraube als Fortbewegungsmittel für Schiffe, ist der Mechanismus der Maschinen dadurch sehr vereinfacht worden, daß man die Kolbenstange in directere Verbindung mit dem Krummzapfen setzte. Dies kann entweder in der Weise geschehen, wie wir es an der Locomotive sahen, oder noch einfacher durch Anwendung oscillirender Cylinder. Die Anwendung dieser Principe geschieht unter sehr zahlreichen Formen; es giebt Maschinen mit stehenden, horizontal oder schräg gelegten, selbst umgekehrten Cylindern, wenigstens sind dergleichen in England patentirt, bei welchen der schwingende Cylinder die Kolbenstange nach unten herausstößt, während seine Zapfen gleich unter dem nach oben liegenden Boden angebracht sind, so daß er beim Umtreiben der Kurbel eine förmliche Pendelbewegung macht.

Von dem Wesen der Schiffsschraube ist schon S. 175 gesprochen worden. Da die Schraubenwelle sich bedeutend schneller drehen muß als die Räderwelle, so mußte auch in Bezug hierauf die Maschinerie Modificationen erfahren. Das nächstliegende und auch oft in Anwendung kommende Mittel ist natürlich, daß man die Schraube auf eine besondere Welle setzt, die Kurbelwelle mit einem Stirnrade versieht und dieses in ein kleineres Getriebe auf der Schraubenwelle eingreifen läßt. Wo dieses stattfindet, macht man der größern Sicherheit halber diese Getriebe immer sehr breit, oder schiebt 3 — 4 schmalere Räder aneinander. Häufig aber wendet man auch die übersetzten Räder gar nicht an, sondern läßt die Schraubenwelle direct von den Cylindern aus angreifen, die hier in der Regel oscillirende sind. Die erforderlichen raschen Umläufe können bei dem direct wirkenden System nur durch einen sehr gekürzten Gang der Kolben, die dabei eine ungewöhnlich große Durchschnittsfläche haben, bewirkt werden.

Das Bedürfniß einer möglichst compendiösen Bauart hat noch eine andere erwähnenswerthe Cylinderform hervorgerufen, welche die Engländer mit dem Namen Trunk-engine bezeichnen. Bei ihr ist der schwingende Cylinder wieder zur

Ruhe gebracht und der Kurbelstange auf andere Weise der nöthige Spielraum gegeben. Man denke sich eine Kolbenstange durch *beide* Boden eines sehr kurzen Cylinders dampfdicht durchgehend und auf jeder Seite ein kurzes Stück vor-

Fig. 179.



Der Kessel eines Dampfschiffs.

ragend. Diese Kolbenstange nun muß man sich so verdickt vorstellen, daß sie etwa $^1/_5$ des Raumes im Innern des Cylinders wegnimmt; der übrige Raum

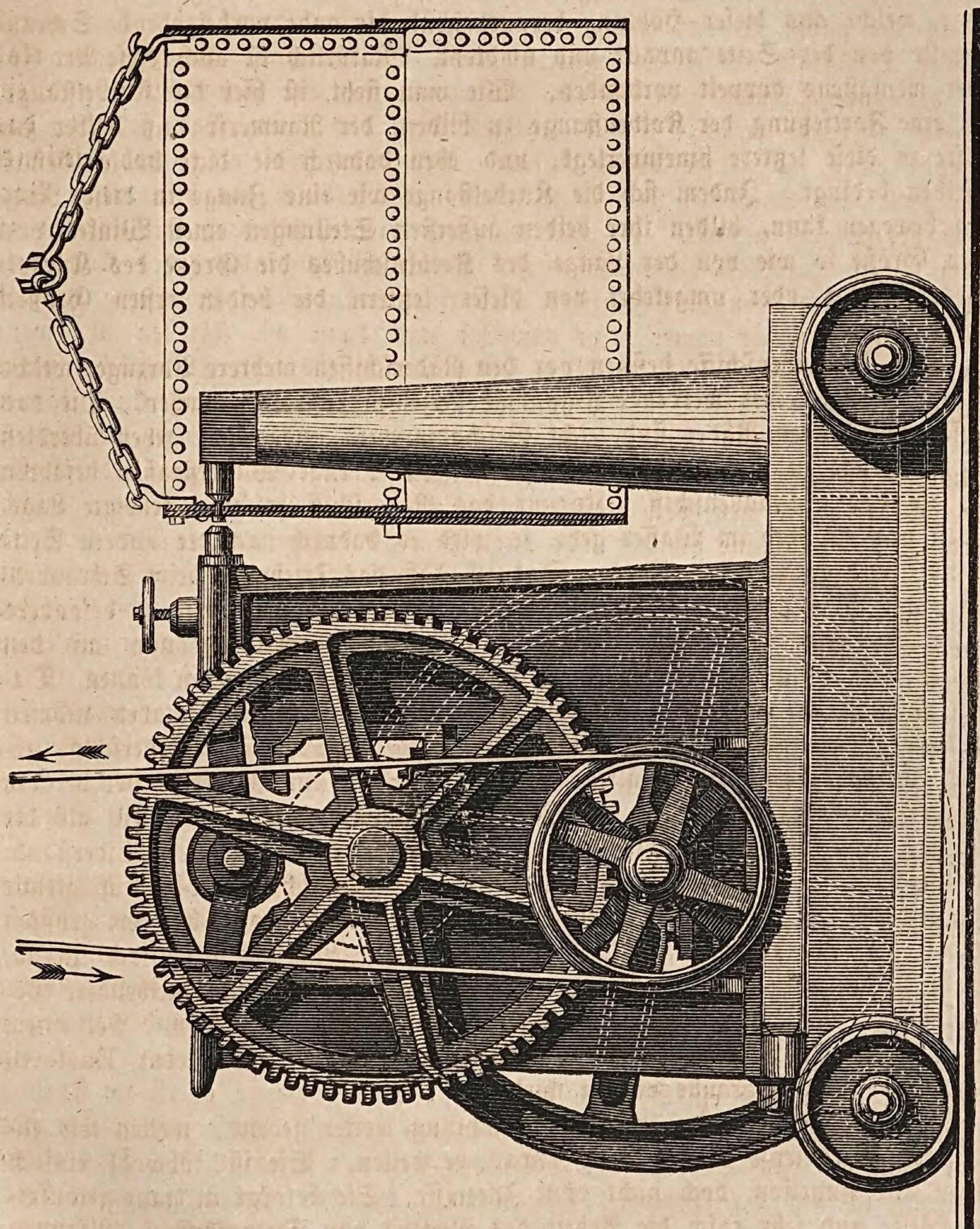
wird durch den auf ihr angegossenen ringförmigen Kolben wie gewöhnlich in zwei Kammern abgetheilt. Nun ist diese ausgeartete Kolbenstange hohl, bildet sonach ein Röhrenstück, und zwar ist es gerade dieses, was die Engländer den trunk nennen. In der Mitte dieses Hohlraums, also da, wo der ringförmige Kolben sein Centrum hat, hängt an einem starken Querbolzen die Kurbelstange, welche aus dieser Höhlung herausragend die nahe vorbeigehende Schraubenwelle von der Seite anpackt und umdreht. Natürlich ist auch diese Art Cylinder wenigstens doppelt vorhanden. Wie man sieht, ist hier die Kurbelstange, statt eine Fortsetzung der Kolbenstange zu bilden, der Raumersparniß halber zur Hälfte in diese letztere hineinverlegt, und eben dadurch die dicke hohle Gestalt derselben bedingt. Indem sich die Kurbelstange wie eine Zunge in dieser Rundung bewegen kann, bilden ihre beiden äußersten Stellungen einen Winkel, von dessen Größe so wie von der Länge des Kolbenschubes die Größe des Kurbelkreises abhängt oder umgekehrt von dieser letztern die beiden ersten Größen bedingt werden.

Die Schraubenschiffe besitzen vor den Räderschiffen mehrere Vorzüge, welche die immer allgemeiner werdende Aufnahme derselben erklärlich machen. Die das Wasser peitschenden Räder sind leicht Beschädigungen ausgesetzt, geben überdieß dem Fahrzeuge zu viel Breite, so daß es nicht so enge Wasserstraßen befahren kann als das Schraubenschiff. Kommt das Räderschiff in eine geneigte Lage, so daß nur ein Rad im Wasser geht, so wird es dadurch nach der andern Seite gewendet und verliert den Curs. Dadurch daß das Triebwerk beim Schraubenschiff unter Wasser und vor feindlichen Geschossen sicher liegt, hat es besonders in der Kriegsmarine rasche Aufnahme gefunden, zumal da nun an den besten Stellen, welche früher die Räder wegnahmen, Kanonen stehen können. Dagegen ist nicht zu verkennen, daß die Schraube auch einmal Schaden nehmen und dann unterwegs gar nicht ausgebessert werden kann. Die Räderschiffe gestatten übrigens auch die Zuhülfenahme von Segeln, ein Vortheil, der bei der Schraube wegfällt; denn wenn der Wind das Schiff rascher treiben will als die Schraube, so leistet letztere mit ihren nach vorn gerichteten Flächen Widerstand. Die Geschwindigkeit der Schraubenschiffe ist im Allgemeinen wohl auf gleiche Höhe mit der der Räderschiffe gebracht worden; indeß hat man bei dem größten jetzt auf der See zwischen England und Amerika gehenden Schiffe, der Persia, doch die Räder vorgezogen, weil man glaubt, durch sie eine gleichbleibendere Geschwindigkeit, also ein besseres Einhalten der Fahrzeit zu gewinnen. Bei einem noch größeren in London im Bau begriffenen Schiffe, dem Great Eastern, sollen Räder und Schraube vereint wirken.

Nietmaschine. In unserer Betrachtung weiter gehend, wollen wir zunächst bei Fairbairn's Nietmaschine etwas verweilen. Sie ist, obwohl einfach in Bau und Function, doch nicht ohne Interesse. Sie besorgt in ganz geräuschloser Weise und sehr rasch die Arbeit des Nietens von Dampfkesseln, Pfannen u. dgl., welche sonst durch zwei Menschen, einen Zuschläger und einen Gegenhalter, unter großer Anstrengung und bedeutendem Geräusch verrichtet werden mußte. Die zu vernietenden Tafeln, in welche vorher aufeinander passende Löcher

gepreßt worden, sind in Ketten und Haken aufgehangen, an denen sie, wie der Fortgang der Arbeit es erheischt, gehoben oder gesenkt werden können. Außerdem kann die auf Rädern stehende Maschine auch selbst der Arbeit nachrücken.

Fig. 180.



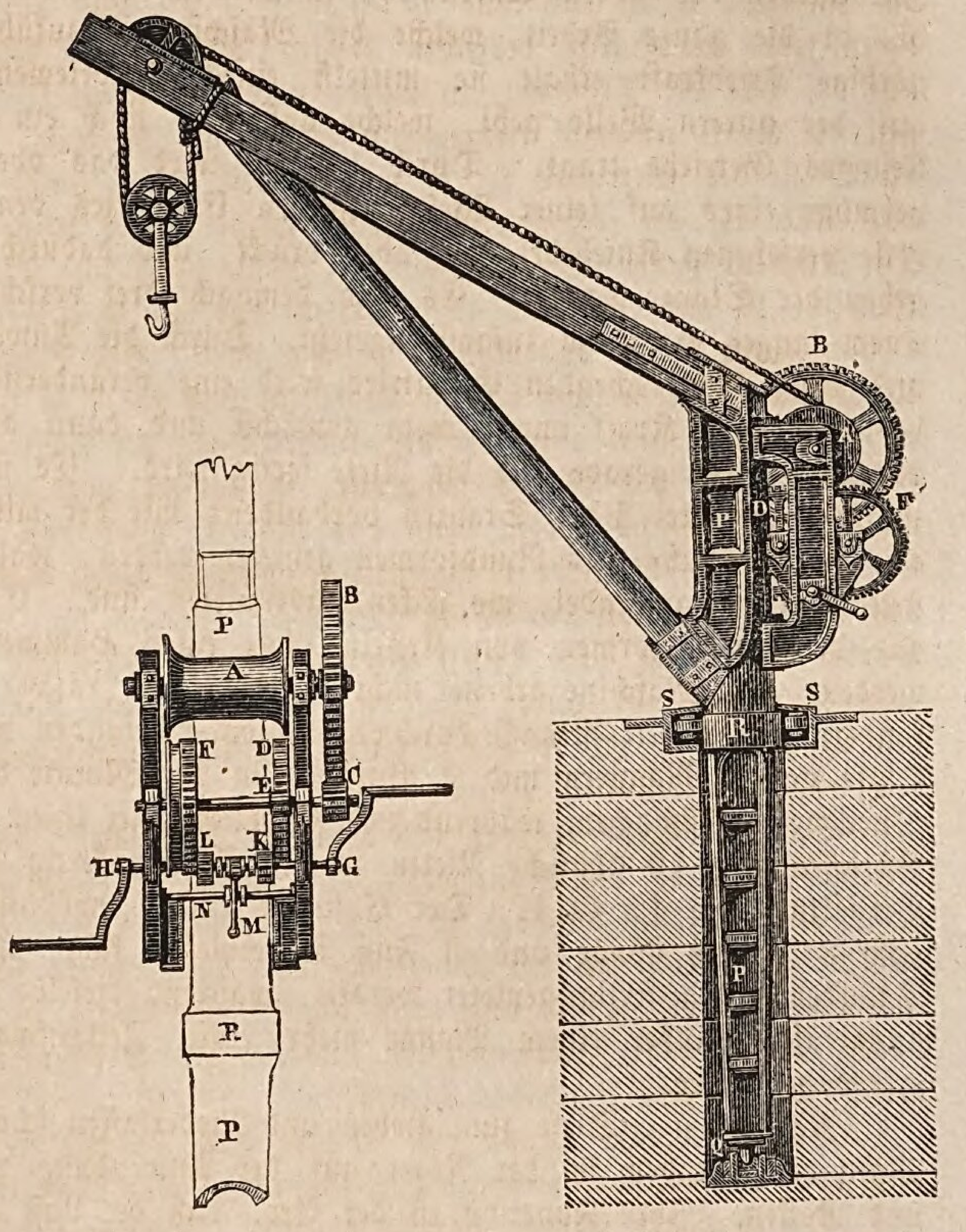
Auf dem starken eisernen Grundgestell der Maschine erhebt sich rechts eine dicke schmiedeeiserne Säule, in deren Kopfe sich mehrere Löcher zum Einsetzen verschieden geformter Stanzen befinden. Sie vertritt die Stelle des Gegenhalters,

während die Arbeit des Zuschlägers hier durch einen bloßen Druck verrichtet wird, indem die Maschine eine bewegliche Stanze gegen die feststehende vorschiebt und so die Niete, welche vorher heiß gemacht und in das betreffende Loch eingeschoben worden ist, zwischen beiden breit gedrückt wird. Das Vor- und Zurückgehen des obern Querstücks, in welchem die drückende Stanze eingesetzt ist, ist die ganze Arbeit, welche die Maschine auszuführen hat. Die hierzu nöthige Triebkraft erhält sie mittelst eines Treibriemens, der um ein Rad auf der untern Welle geht, welche außerdem noch ein Schwungrad und ein kleineres Getriebe trägt. Durch letzteres wird das obere Rad gedreht, das vermöge eines auf seiner Welle sitzenden Excentrics den mit einer Frictionsrolle versehenen Kniehebel nach oben drückt, und dadurch das horizontale Vorgehen der Stanze bewirkt. Es sind demnach drei verschiedene Hebelformen zu einem langen Hebelarm zusammengesetzt. Durch die Anwendung des Kniehebels und eines entsprechenden Excentrics wird eine veränderliche Bewegung erzeugt, bei welcher die Kraft immer mehr anwächst und dann am stärksten ist, wenn das Kniegelenk gerade und die Niete fertig wird. Es sind Einsetzlöcher neben einander für drei Paar Stanzen vorhanden; mit der mittlern Stellung können alle Arten Flach- und Rundformen genietet werden, während man die Seitenstellungen da anwendet, wo Ecken auszunieten sind. Es können dadurch fast alle denkbaren Formen von Kesseln ohne einen Hammerschlag fertig gemacht werden. Die Maschine arbeitet nicht nur bedeutend rascher als die Menschenhand, sondern ihre Arbeit ist auch durchweg haltbarer befunden worden. Sie kann mit Hülfe von 2 Männern und 2 Burschen in der Minute 8 Nieten von $^3/_4$ Zoll Durchmesser festmachen, während zwei Schmiede mit einem Gegenhalter und einem Burschen nur 40 ähnliche Nieten in der Stunde fertig bringen. Das ist ein Verhältniß wie 12 zu 1. Der Cylinder eines gewöhnlichen Locomotivenkessels von $8^1/_2$ Fuß Länge und 3 Fuß Durchmesser kann mit der Maschine in 4 Stunden völlig fertig genietet werden, während dieselbe Arbeit, mit der Hand ausgeführt, außer einem Manne mehr einen Zeitaufwand von 20 Stunden erfordern würde.

Krahnen. Diese zum Heben und Niederlassen schwerer Lasten bestimmten Maschinen beruhen in der Regel auf der Anwendung von übersetzten Rädern und Rollen. Ihre Function ist der Art, daß die Last zuerst senkrecht gehoben und dann durch eine Drehung der Maschine noch eine Strecke seitwärts fortbewegt wird. Fig. 181 giebt die Seitenansicht eines Krahnen und daneben in größerm Maßstabe eine Ansicht der Maschinerie von der Rückseite. A ist eine Trommel, auf welche ein Seil sich aufrollt, das über die zu oberst am Krahnen befindliche feste Rolle und dann nach unten um eine lose Rolle und wieder nach oben geht, wo das Seilende am Halse des Krahnen befestigt ist. Das andere Seilende ist auf der Trommel festgemacht. An den Haken der losen Rolle wird die Last angehangen. Der Mechanismus zur Umdrehung der Trommel ist folgender. B ist ein Stirnrad, das auf der Axe der Trommel festsitzt und 66 Zähne hat. In dieses greift ein Getriebe C mit 11 Zähnen. Auf der Welle dieses Getriebes sitzt nach innen zu ein anderes Stirnrad D mit 54

Zähnen, das mit einem Getriebe E von 9 Zähnen in Eingriff ist. Auf der Welle dieses Getriebes sitzt wieder ein Rad F, das dem Rade D gleich ist, also auch 54 Zähne hat. Es sind somit zwei Wellen, eine für D und eine für F vorhanden, von denen man, da sie in derselben Ebene liegen, in der Zeichnung nur eine sieht. Unten zwischen beiden Rädern liegt eine Welle GH, welche vor dem untern Theile des Rades D und hinter dem untern Theile des Rades F vorbeigeht. Auf dieser Welle, die an beiden Enden mit Kurbeln versehen ist, sitzen die Getriebe K L, jedes mit 9 Zähnen, welche in der Lage, wie sie gezeichnet sind, in keines der beiden Räder D und F eingreifen. Verschiebt man aber die Welle in der Richtung ihrer Länge nach rechts, so kommt das Getriebe K mit dem Rade D in Eingriff, während ein Verschiebung nach links das Getriebe L mit dem andern Rade F in Verbindung bringt. Die Welle wird in jeder dieser drei Lagen durch einen mit Gegengewicht versehenen Hebel M festgehalten, dessen anderer aufwärts gekrümmter Arm in Vorsprünge eingreift, welche zu diesem Zweck auf der Welle G H angebracht sind. Dreht man die Kurbeln, während die Welle die in der Zeichnung ersichtliche Lage hat, so erfolgt keine Wirkung, denn die Trommel dreht sich nicht mit; steht aber das Getriebe K mit dem Rade D in Eingriff, so erfolgt ihre Drehung durch Vermittelung der Räder B D und der Getriebe C K. Das Getriebe E und das Rad F drehen sich hierbei auch, aber nutzlos. Bringt man endlich das Getriebe L mit dem Rade F in Eingriff, so wird die Trommel vermittelst der Räder B D F und der Getriebe C E L gedreht.

Fig. 181.



Sehen wir nun mit welcher Kraft die Kurbeln gedreht werden müssen, um eine gegebene Last zu heben. Es soll hierbei angenommen werden, daß die Länge der Kurbelarme, senkrecht auf die Axe G H gemessen, dreimal so groß sei als der Halbmesser der Trommel. Zunächst nehmen wir den Fall an, daß das Getriebe K in das Rad D eingreife. Die Last hängt an zwei Seilstücken, deren jedes die Hälfte derselben trägt. Wirkte eine der beiden Kurbeln direct auf die Axe der Trommel, so würde nach den schon früher gegebenen Erklärungen die Kraft sechsmal kleiner sein dürfen als die Last. Wirkte die Kurbel auf die Welle des Getriebes C, so würde, weil dieses 6mal weniger Zähne hat als das Rad B, die erforderliche Kraft wieder 6mal kleiner, also $1/_{36}$ der Last. Die Kurbeln stehen aber nun auf der Welle G H und die Kraft geht durch das Getriebe K auf das Rad D, wodurch das auf derselben Axe sitzende Getriebe C und durch dieses das Rad B gedreht wird. Hier haben wir also eine dreifache Uebersetzung, bei welcher sich die Kraft zur Last wie 1 zu $6 \times 6 \times 6 = 216$ verhält. Wird nun aber mit der andern Lage der Welle gearbeitet, so daß das Getriebe L in das Rad F eingreift, so kommt noch eine weitere Uebersetzung um das 6fache ins Spiel, denn das Rad D wird nun nicht mehr direct, sondern durch das Getriebe E angegriffen, welches 6mal kleiner ist als das Rad F, auf welches zunächst die Kraft übergeht. Sonach hält 1 Pfund Kraft an der Kurbel einer Last von 1296 Pfund das Gleichgewicht, und es können daher zwei Menschen mit dieser Maschine eine ungeheure Last heben. Arbeitet jeder mit 20 Pfund Kraft, so giebt dies, 40 Pfund 1296mal genommen, einen Effect von weit über 50,000 Pfund.

Der gußeiserne Körper des Krahnen P P steht mit seinem untern Theile in einer Hohlung des Mauerwerks und endigt in einem Zapfen Q, auf welchem er in einer Pfanne drehbar ist, um die gehobene Last auch seitwärts bewegen zu können. Nahe an der Oberfläche des Mauerwerks hat der Krahn eine cylindrische Verdickung R, und rund um dieselbe liegen in einem gußeisernen Gehäuse eine Anzahl Frictionsrollen, welche als Stützen und zur Verminderung der Reibung beim Umdrehen dienen.

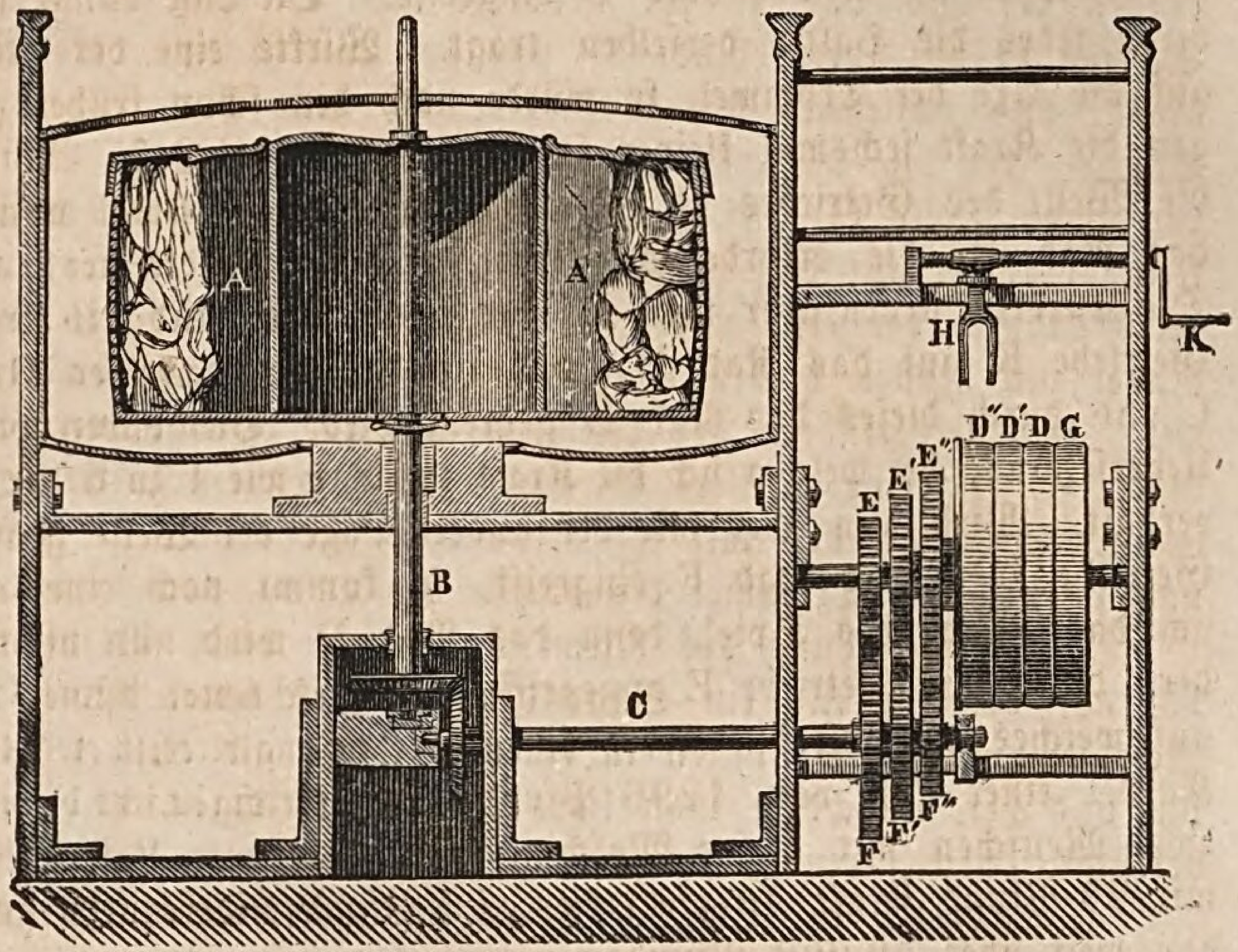
Hängt an dem Krahn eine schwere Last, so hat sie die Tendenz denselben nach vorn umzureißen, weshalb das ihn umgebende Mauerwerk sehr fest sein muß.

Die Krahnen werden vorzüglich zum Entladen von Schiffen, häufig auch in Maschinenbauanstalten, Gießereien ꝛc. zur Fortbewegung schwerer Werkstücke gebraucht. Man hat da zuweilen mehrere zusammenwirkende Krahnen, von denen der eine ein zu transportirendes Stück faßt und es einem andern zuführt, der es wieder erfaßt und weiter giebt und so fort. Auch beim Schmieden großer Stücke benutzt man sie, um dieselben zwischen Feuer und Ambos hin und her zu führen.

Centrifugaltrockenmaschine. Es ist noch nicht lange her, daß man auf die glückliche Idee gekommen ist, die Centrifugalkraft zur raschen Austreibung der Feuchtigkeit aus Wäsche, Zeugen, Wolle und verschiedenen andern Fabrikationsstoffen anzuwenden. Die nachstehende Abbildung giebt eine Durchschnittsansicht der hierzu gehörigen Maschine. A A ist eine kupferne Trommel, in

welche die nassen Zeuge eingelegt werden. Sie ist durch eine ringförmige Scheidewand in zwei Abtheilungen geschieden, deren innerste leer bleiben muß, weil hier die Centrifugalkraft nicht stark genug sein würde. Ist die größere Abtheilung gefüllt, so wird die Trommel mit einem festschließenden Deckel geschlossen. Sie sitzt auf der stehenden Welle B fest, wird lediglich von dieser getragen und nimmt also an den Umdrehungen Theil, die dieselbe machen muß. Ein größeres feststehendes Gehäuse, ebenfalls von Kupfer, umgiebt die Trommel, ohne sie irgendwo zu berühren.

Fig. 182.



Die Arbeit des Trocknens besteht nun darin, daß man die Welle mit der Trommel in raschen Umlauf setzt; man läßt sie bis 500 Umgänge in der Minute machen. Hierdurch wird den Zeugen und den darin steckenden Wassertheilchen eine große Centrifugalkraft ertheilt; erstere legen sich fest an die Innenwände der Trommel an und das Wasser dringt durch zahlreiche kleine Löcher, mit welchen die Trommel siebartig durchbohrt ist, nach außen. Die Wassertheile werden von den Wänden der äußern stehenden Trommel aufgehalten, sammeln sich in dieser und fließen durch eine Oeffnung ab.

Die Aufgabe, die stehende Welle B rasch umzudrehen, kann natürlich in mancherlei Weise gelöst werden; immer aber werden Vorrichtungen da sein müssen, die es gestatten, die Geschwindigkeit der Trommel allmälig bis auf die nöthige Höhe zu steigern, da es zu gefährlich wäre, gleich mit der größten Geschwindigkeit anzufangen. Dies wird bei der vorliegenden Einrichtung in folgender Weise erreicht. Die Welle B erhält, wie man sieht, ihre Umdrehung durch die liegende Welle C mittelst ein Paar Winkelrädern. Welle C selbst wird durch einen von der Triebmaschine seitwärts herkommenden Laufriemen getrieben; da aber die Geschwindigkeit dieses letztern als eine gleichbleibende anzunehmen ist, während daraus hier eine wachsende abgeleitet werden soll, so sind die zwischenliegenden Transmissionen erforderlich. G ist eine lose Rolle, auf welcher einstweilen der Treibriemen laufen mag, während die Trockenmaschine stillsteht. Auf der Welle C sind rechts drei Stirnräder F F′ F″ von abnehmender Größe unbeweglich

aufgesteckt; mit ihnen im Eingriff stehen die gleichgroßen, aber in umgekehrter Ordnung postirten Räder E, E' E'', und wir haben also hier dasselbe Verhältniß, dem wir schon in der Form von Schnurenrollen begegneten. Damit nun jeder dieser drei Rädersätze ins Spiel kommen kann, ist blos die Scheibe D (neben G) und das zu ihr gehörige Rad E auf der Gesammtaxe festsitzend; Scheibe D mit ihrem Rade E' sitzt auf einer Büchse, die sich lose auf der Axe dreht, und schließlich haben Scheibe D'' und Rad E'' wieder ihre besondere Büchse, die um die erste drehbar ist. Wird nun z. B. der Laufriemen von der losen Rolle G auf Rolle D geschoben, so geht die Triebkraft durch das kleine Rad E auf das größere F und somit auf die Wellen C B über und es wird dadurch der erste und geringste Geschwindigkeitsgrad ertheilt; die übrigen Räder und Rollen drehen sie hierbei, wie auch in den beiden andern Fällen, leer mit. Ein Ueberführen des Riemens auf D' erzeugt vermöge der gleichgroßen Räder E' F' eine mittlere Geschwindigkeit, während, wenn man die Rolle D'' ins Spiel bringt, das mit ihr verbundene große Rad E'' das kleine F'' angreift und dadurch die Trommel die höchste Umlaufsgeschwindigkeit erhält.

Die Verschiebung des Riemens geschieht durch Drehen einer kleinen Kurbel K, auf deren Welle ein Schraubengang geschnitten ist. Eine darauf sitzende Schraubenmutter, die unten in einem Schlitze gleitet, bewegt sich auf der Welle hin und her, jenachdem man links oder rechts dreht, und an ihr ist eine Gabel befestigt, durch deren Zinken der Riemen läuft.

Mahlmühle. Um das Mehl aus Getreidekörnern zu gewinnen, zerkleinert man diese zwischen zwei Mühlsteinen, deren unterer, der Bodenstein, festliegt, während der obere, der Läufer, in raschen Umlauf versetzt wird. Die Körner werden durch die natürlichen und künstlich vermehrten Rauhheiten der Steine zerquetscht, ihre Hülsen abgerissen und so das Ganze in Mehl und Kleie verwandelt, die durch Beuteln oder Sieben von einander getrennt werden.

Das Mahlen des Getreides wurde in alten Zeiten durch Handarbeit oder Thierkraft betrieben, während man jetzt allgemein Wasser-, Wind- oder Dampfkraft dazu anwendet. Fig. 183 und 184 stellen die Einrichtung einer sog. englischen Wassermühle vor. Die Welle des Wasserrades geht durch das Gemäuer ins Innere der Mühle und treibt hier vermöge eines konischen Rades und Getriebes die stehende Welle B um. Auf dieser sitzt ein größeres horizontales Stirnrad C, welches zwei Mahlgänge treiben kann, wenn seine Zähne in die beiden ihm zur Seite befindlichen kleinern Getriebe D und E eingreifen. Letztere sind auf ihren Wellen, den sog. Mühleisen, verschiebbar und können beliebig aus- und eingerückt werden, so daß man entweder mit einem oder mit beiden Mahlgängen arbeiten kann. Die Wellen haben Keilschlitze, um die Getriebe in der Ebene des Triebrades festzustellen, wenn sie in Thätigkeit kommen sollen. Das Mahlen geht unter einem über die Steine gestürzten hölzernen Gehäuse, der Zarge, vor sich. Ueber derselben befindet sich der Aufschüttekasten oder Rumpf, aus welchem unten die Körner allmälig herauslaufen und zwischen die Mühlsteine gelangen. Fig. 184 zeigt den Mahlgang rechts in seinem äußern Aussehen, während links eine Durchschnittsansicht des andern gegeben

ist, welche das Verhältniß der Steine und des Mühleisens zeigt. Das letztere geht durch ein rundes Loch in der Mitte des Bodensteins hindurch und ragt etwas über denselben hervor. Das Loch im Bodenstein ist mit Leder, Holz oder Eisen dergestalt verwahrt, das hier von dem Mahlgute nichts durchfallen kann. Auf dem Kopfe des Mühleisens ruht der Läufer vermöge einer Art eiserner Pfanne, der Haue, die in seiner Mitte befestigt ist. Einen andern Stützpunkt hat der Läuferstein nicht und, damit er sich gut horizontal halte und die Mahlflächen beider Steine überall gleichweit abstehen, wird nöthigenfalls durch aufgegossenen Gips das Gleichgewicht hergestellt. Der Abstand beider Steine, der natürlich immer nur ein ganz geringer sein darf, läßt sich übrigens noch durch eine Schraube regeln, durch welche die Pfanne, in welcher das Mühleisen steht, gehoben und gesenkt werden kann.

Fig. 183.

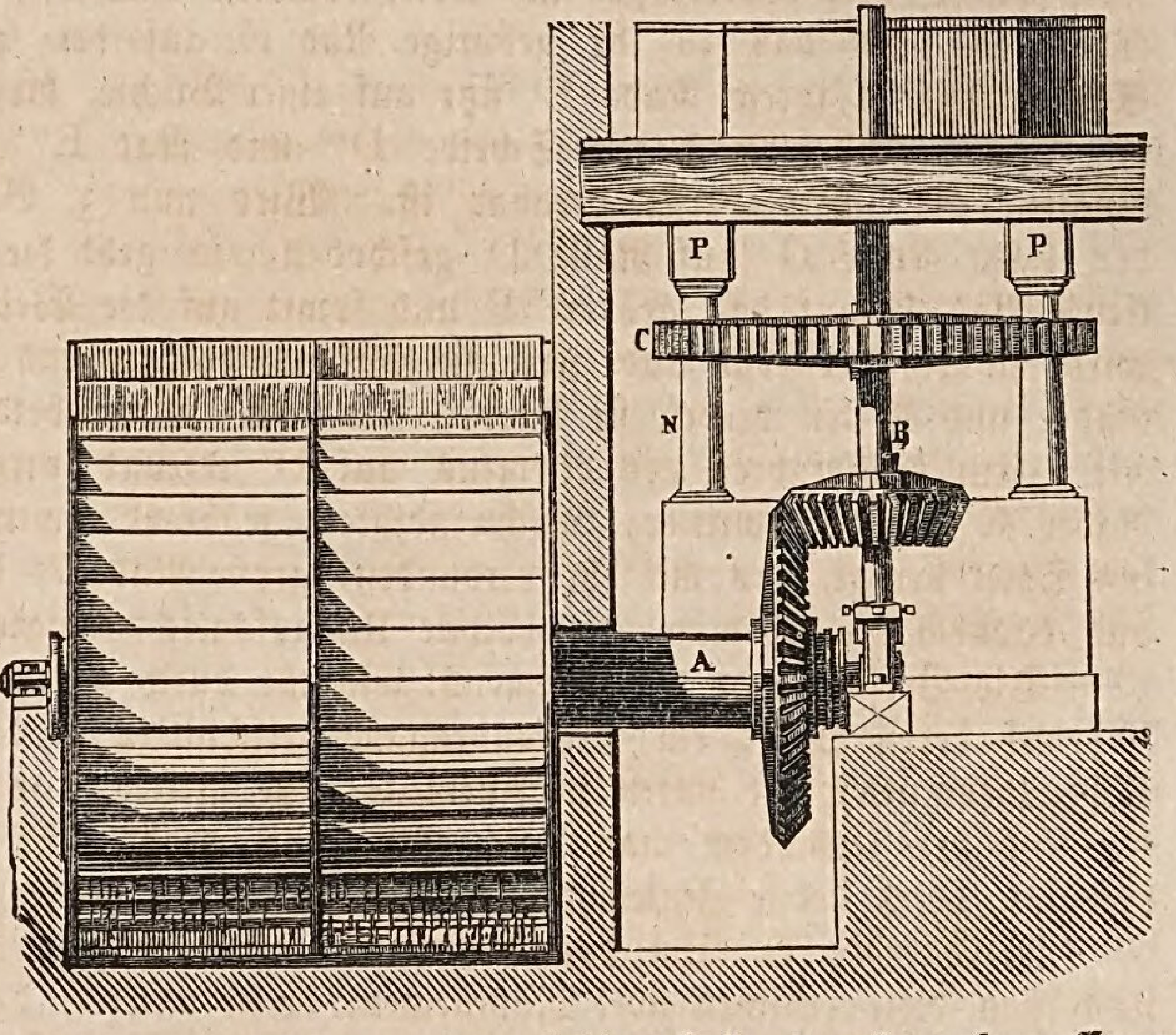
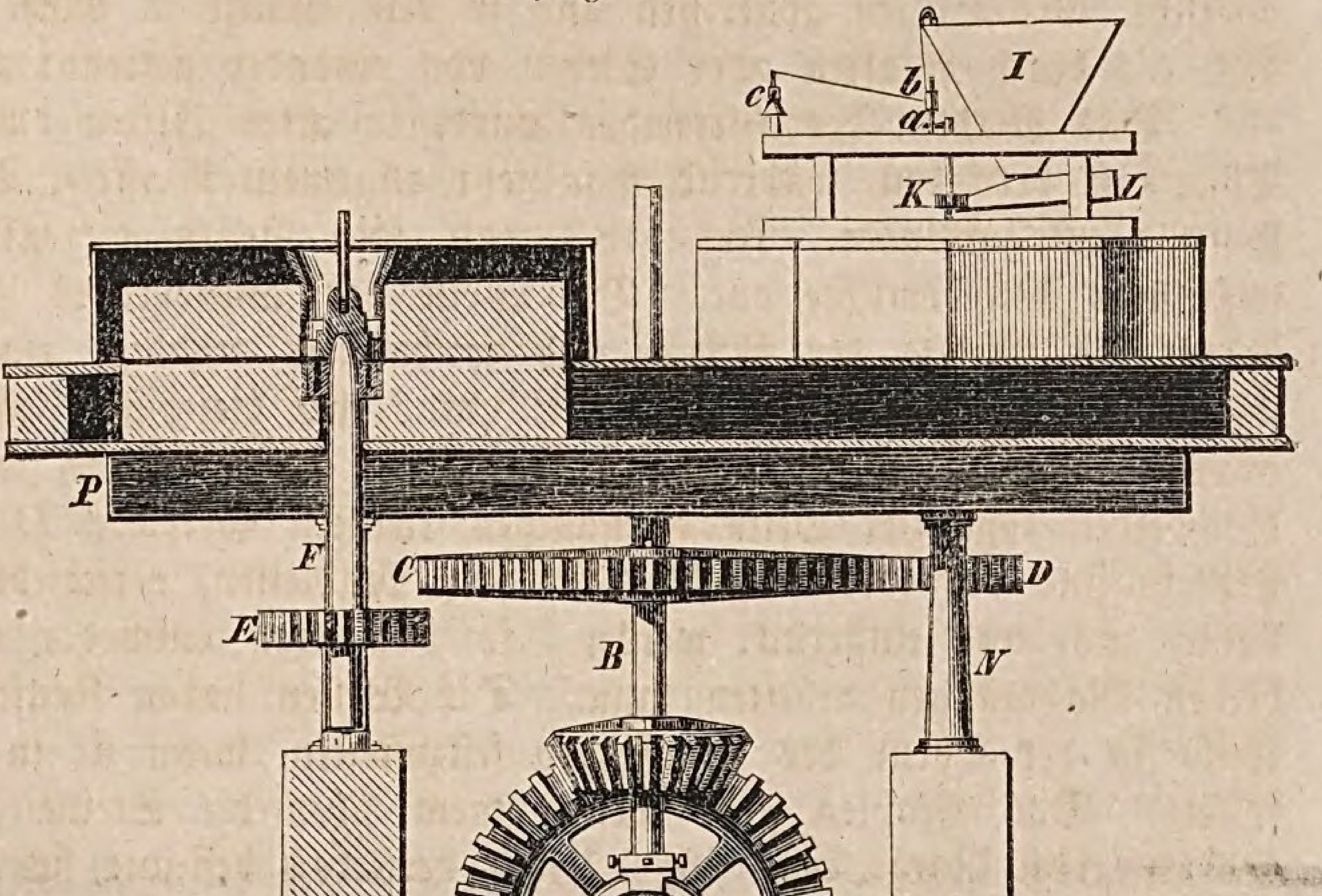


Fig. 184.



Das zu mahlende Getreide wird in den Rumpf geschüttet, dessen untere Oeffnung sich enger und weiter stellen läßt. Unter ihm hängt in geneigter

Lage ein etwas beweglicher Theil L, der Schuh, auf dessen schiefe Fläche die Körner zunächst gelangen, und, indem der Schuh geschüttelt wird, sich nach der Spitze hin begeben und da heraus und zwischen die Mühlsteine fallen. Der Läuferstein ist nämlich in der Mitte ebenfalls durchbrochen und die Haue ist in dieser runden Aushöhlung so befestigt, daß sie dieselbe nicht überall schließt, sondern Wege für die Körner offen bleiben. Auf der Haue steht ein Stäbchen mit einigen Seitenarmen, welche bei der Umdrehung an den Schuh anschlagen und so seine beständige Schüttelung bewirken.

Um dem Müller anzuzeigen, daß der Rumpf bald leer ist und wieder aufgeschüttet werden muß, ist ein Signalapparat mit Klingel vorhanden. Die Klingel ist mit einer Schnur an das Holzklötzchen b befestigt, das auf einem eisernen Stängelchen lose aufgesteckt ist und an diesem sowohl herauf und herunter rutschen, als sich um dasselbe drehen kann. Es wird durch eine andere daran befestigte Schnur gehalten, welche nach oben über eine kleine Rolle weg nach dem Innern des Rumpfes läuft und dort an ein leichtes Holzstück befestigt ist. Ist der Rumpf gefüllt, so wird dieses letztere durch die Last der Körner niedergehalten und der Apparat hat die Stellung, wie sie die Abbildung giebt; haben sich aber die Körner größtentheils verlaufen, so überwiegt die Schwere des Klötzchens b und es sinkt bis nach a herunter. Dort kommt es in den Bereich eines Daumens, der an demselben Stabe sitzt, welcher den Schuh schüttelt, und der nun bei jedem Umgange einmal an das Klötzchen schlägt und die Klingel ertönen macht, bis durch neues Aufschütten b wieder nach oben gezogen und die frühere Stellung hergestellt ist.

Die Körner, welche zunächst auf den Bodenstein neben das Mühleisen fallen, werden alsbald durch die rasche Umdrehung des Läufers zwischen beide Steine hineingerissen und nehmen an der rotirenden Bewegung einigermaßen Theil, wobei sie jedoch gleichzeitig nach außen getrieben und endlich zu Mehl und Kleie zermalmt am äußern Umfange der Mühlsteine herausgestoßen werden. Die Wirksamkeit der Mühlsteine wird dadurch erhöht, daß auf den Mahlflächen flache Furchen eingehauen werden, die nach dem Centrum hin tiefer sind und nach den Peripherien zu immer flacher auslaufen. Ueber die Richtung dieser Furchen, die von Zeit zu Zeit aufgehauen werden, giebt es viele Regeln. Im Allgemeinen giebt man ihnen Richtungen, die nicht auf das Centrum zuführen. Da nun die Figuren auf beiden Steinen gleich sind, so folgt, daß wenn die Mahlflächen zusammengelegt werden, die excentrisch verlaufenden Furchen sich in spitzen Winkeln kreuzen und so beim Drehen des Steine gewissermaßen Scheeren entstehen, welche die Körner zerschneiden oder zerreißen. Dies ist aber hauptsächlich die gewünschte Wirkung, nicht ein lange fortgesetztes Schleifen, wodurch das Mahlgut zum großen Nachtheil erhitzt, wie man sagt todtgemahlen wird. Das nothwendige Kühlhalten des Mahlgutes hat man in neuerer Zeit durch Verkleinerung der Mühlsteine, auch durch Anbringen von Luftcanälen in diesen selbst zu sichern gesucht, wie denn überhaupt, seitdem die Mehlbereitung ein Fabrikationszweig geworden ist, der hauptsächlich mit Dampf betrieben wird, vielfach an den Mühlwerken gebessert und geändert worden ist.

Das eine der gangbaren Systeme, die Walzmühle, hat gar keine Mühlsteine mehr, sondern arbeitet mit fein geriefelten Metallwalzen und Sieben und erzeugt durch öfteres Durchleiten des Mahlgutes durch diese Apparate eine Reihe von Mehlsorten.

Die Mühlsteine haben ebenfalls große Verbesserungen erfahren. Die aus einem Stück bestehenden Sandsteine, die so oft aufgehauen werden mußten, finden sich in bessern Mühlen nicht mehr, sondern hier sind kleinere Stücken zusammengesetzt, die mit Gips verbunden und durch starke eiserne Reifen zusammengehalten sind. Das beste Material für dergleichen Kunstmühlsteine wird bis jetzt nur in der Umgegend von Paris gefunden. Es ist nicht Sandstein, sondern sog. Süßwasserkiesel von der Härte des Feuersteins, mit zahlreichen rundlichen Hohlräumen, deren Durchschnitte äußerst scharfe Mahlkanten geben. Ein solcher Stein bester Sorte kann 2 — 3 Jahre und länger gebraucht werden.

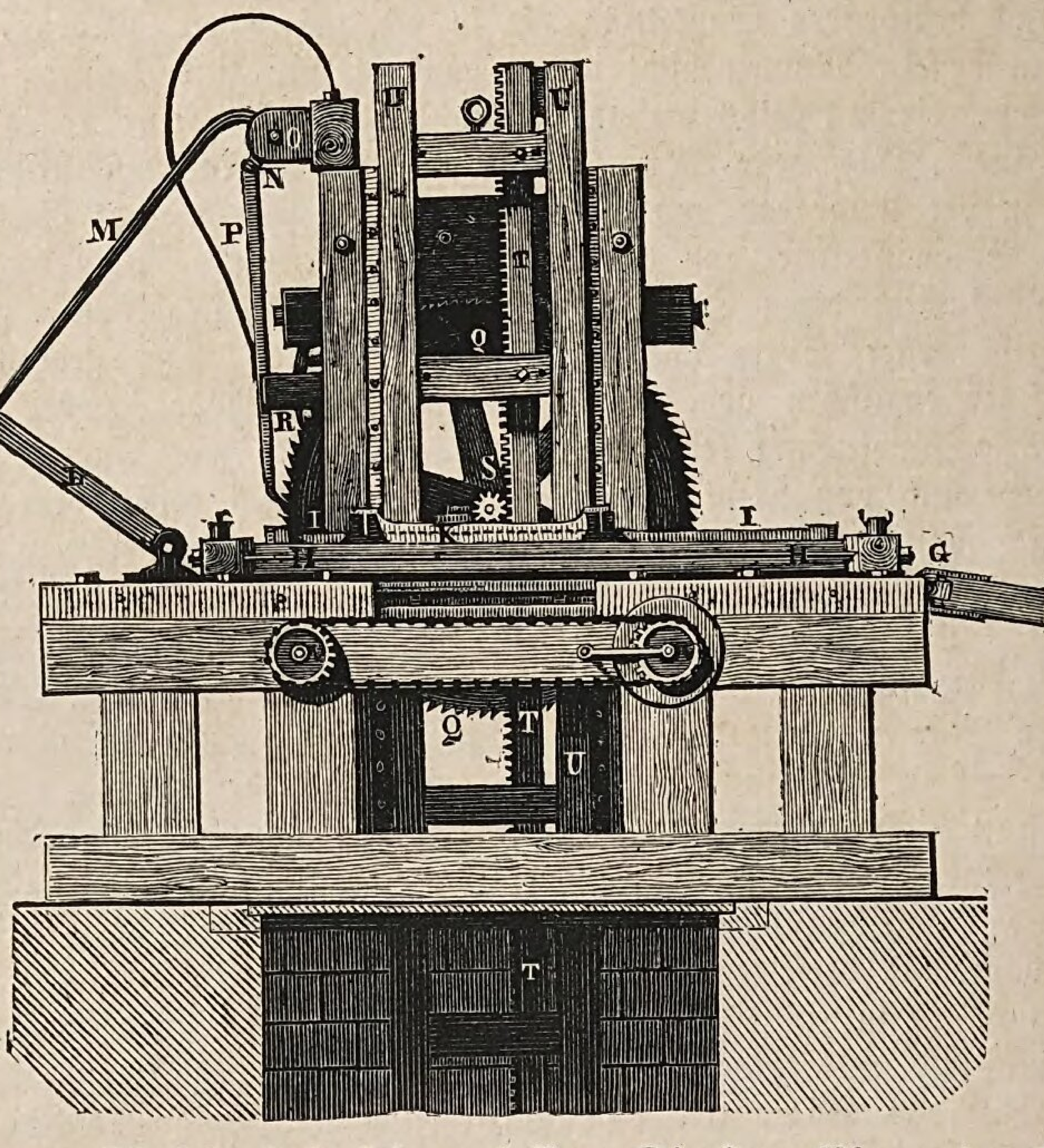
Bei der englischen oder amerikanischen Mahlmethode, wobei die größten Mühlsteine in Anwendung kommen, wird das Getreide blos einmal aufgeschüttet und das Gemisch von Mehl und Kleie sodann mittelst verschiedener Beutel getrennt und so die verschiedenen Mehlsorten gewonnen. Bei der französischen Mahlmethode hat ein 4, 5 und mehrmaliges Aufschütten des Getreides und der Kleie statt. Die Nebenarbeiten, wie das Beuteln, das vorgängige Reinigen des Getreides, das Fortschaffen der Stoffe von einer Räumlichkeit zur andern wird in größern Mühlen ebenfalls auf mechanische Weise durch besondere, von der Triebkraft mit in Bewegung gesetzte Nebenmaschinen besorgt.

Sägen. Die Arbeit des Sägens geht bekanntlich mit Maschinen nicht blos viel schneller, sondern fällt auch viel regelmäßiger aus als mit der Hand. Daher sind Schneidemühlen, vom Wasser getrieben, eine sehr alte Einrichtung. Der Mechanismus derselben ist ziemlich einfach. Das Sägeblatt, zuweilen in der Mehrzahl, ist in ein Gatter eingespannt, welches in einem aufrecht stehenden Gestell auf und niedergleiten kann. Durch eine vom Wasserrade getriebene Kurbel erhält das Sägegatter von unten seine Bewegung. Auf der Radwelle steht ein Stirnrad, das der erforderlichen Geschwindigkeit halber die Bewegung erst auf ein kleineres Getriebe überträgt, an dessen Welle die Kurbel sitzt. Der zu trennende Block liegt auf einem auf Rollen gehenden Schlitten, der langsam durch das Sägegatter hindurchrückt und der Säge ihre Arbeit zuführt. Die Fortbewegung des Schlittens geschieht durch den Mechanismus selbst entweder mittelst einer oben an dem Sägegatter befestigten Schubstange oder eines einfachen Hebelwerkes, das durch ein auf der Kurbelwelle sitzendes Excentric bewegt wird. An dem Schlitten ist eine Zahnstange befestigt, in welche ein Getriebe greift. Die Axe dieses Getriebes trägt noch ein größeres Sperrrad und der Schiebemechanismus greift so in die Zähne desselben, daß nach jedem Schnitt, während die Säge wieder ausholt, ein Zahn weiter geschoben wird und so eine langsame absatzweise Drehung des Sperrrades und des Getriebes erfolgt, welches letztere vermöge seines kleinern Durchmessers die Bewegung etwa um das Vierfache verlangsamt auf die Zahnstange und den Schlitten überträgt.

In neuerer Zeit sind die Kreissägen vielfach in Anwendung gekommen:

stählerne Scheiben, auf deren Rande die Sägezähne eingeschnitten sind. Statt der hin und hergehenden Bewegung macht demnach hier die Säge eine immer in derselben Richtung rotirende, wodurch, da diese sehr rasch erfolgen kann, die

Fig. 185.



Arbeitsleistungen sich sehr hoch steigern lassen. Die Heranführung des Holzes 2c. an diese Sägen geschieht in ähnlicher Weise wie bei der alten Art. Man kann mit ihnen fast eben so gut und rasch Metalle wie Holz zerschneiden. Eine häufige Anwendung finden sie zur Erzeugung von Fournieren, d. h. sehr dünnen Platten aus edlen Hölzern, welche zum Belegen von Meubles aus geringerm Holze dienen. Die hier abgebildete Maschine ist ebenfalls eine Fournierschneide, jedoch nicht mit Kreis-, sondern mit Langsäge, und es finden sich an ihr die wesentlichen Theile der alten Schneidemühle wieder, jedoch die dort liegenden hier stehend und umgekehrt, weil der Schnitt bei ihr nicht senkrecht, sondern horizontal geführt wird.

Die Maschine erhält nebst mehreren ihr gleichen, ihre Bewegung von einer allgemeinen Triebwelle. Diese trägt für jede Säge ein Rad, von dem ein Laufriemen über eine kleinere Trommel geht. An der Welle der letztern sitzt ein Schwungrad und eine Kurbel, welche die Säge hin und herzieht. Die Abbildung zeigt rechts ein Bruchstück der Kurbelstange, die bei G mittelst Gelenk an

der Säge hängt. Letztere hat fast die Einrichtung einer Handsäge: das lange Mittelstück H H hat an jedem Ende ein Querstück, an die beiden innern Enden dieser Querstücke ist das Sägeblatt befestigt, während die äußern durch einen Eisenstab verbunden sind, dessen durchgehende Enden Schraubengänge und Köpfe haben, so daß man durch Anziehen der letztern dem jenseits liegenden Sägeblatte die gehörige Spannung geben kann. Das Blatt ist mit den Zähnen nach unten gerichtet. Seine jenseitige Fläche streicht zur Verhütung von Schwankungen an der eisernen Querschiene K, die an ihrem untern Rande abgeschrägt ist. Das sichere Gleiten des Sägerahmens auf seiner Unterlage wird übrigens durch genau gearbeitete Zungen und Nuthen vermittelt.

Da die Säge immer auf einer Stelle arbeitet, so muß ihr der Holzblock nachgeschoben werden. Derselbe wird zu diesem Zwecke auf eine Unterlage aufgeleimt und diese mittelst Schraubenbolzen auf den Rahmen U U befestigt, der vermittelst Zungen und Nuthen zwischen den beiden Ständern in senkrechter Richtung beweglich ist. Eine Zahnstange T ist mit diesem Rahmen fest verbunden. Das in die Zahnstange greifende Getriebe E sitzt auf der Axe eines großen Sperrrades, und indem letzteres allmälig von rechts nach links umgetrieben wird, steigt der Rahmen mit dem Holzblock immer höher. Die Fortrückung des Sperrrades wird von dem Sägerahmen aus bewirkt. Eine an diesem hängende Schiene L bewegt den Hebel M wie einen Pumpenschwengel hin und her. Den Drehpunkt dieses Hebels bildet der Bolzen O; er krümmt sich in einem kurzen Arme unterwärts und bildet so einen Kniehebel, an welchem bei N eine senkrecht herablaufende Stange P eingelenkt ist. Letztere endigt in einem nach dem Sperrrade zu gekrümmten gabel- oder rehfußförmigen Stück, mit welchem es sich zwischen die Radzähne einsetzt. Eine große von oben herabgekrümmte Feder drückt die Stange P beständig an das Sperrrad an. Man sieht, daß die Hin- und Herbewegung des Hebels M ein kurzes Auf- und Niedergehen der Stange P zur Folge haben und dadurch das Sperrrad stoßweise fortgerückt werden muß. Ein Sperrkegel R, der durch eine Spiralfeder an das Rad angezogen wird, verhindert das Rückwärtsgehen des Rades, wenn die Stange P sich hebt und ihr unterer Theil nur über die schiefen Flächen der Zähne weggleitet.

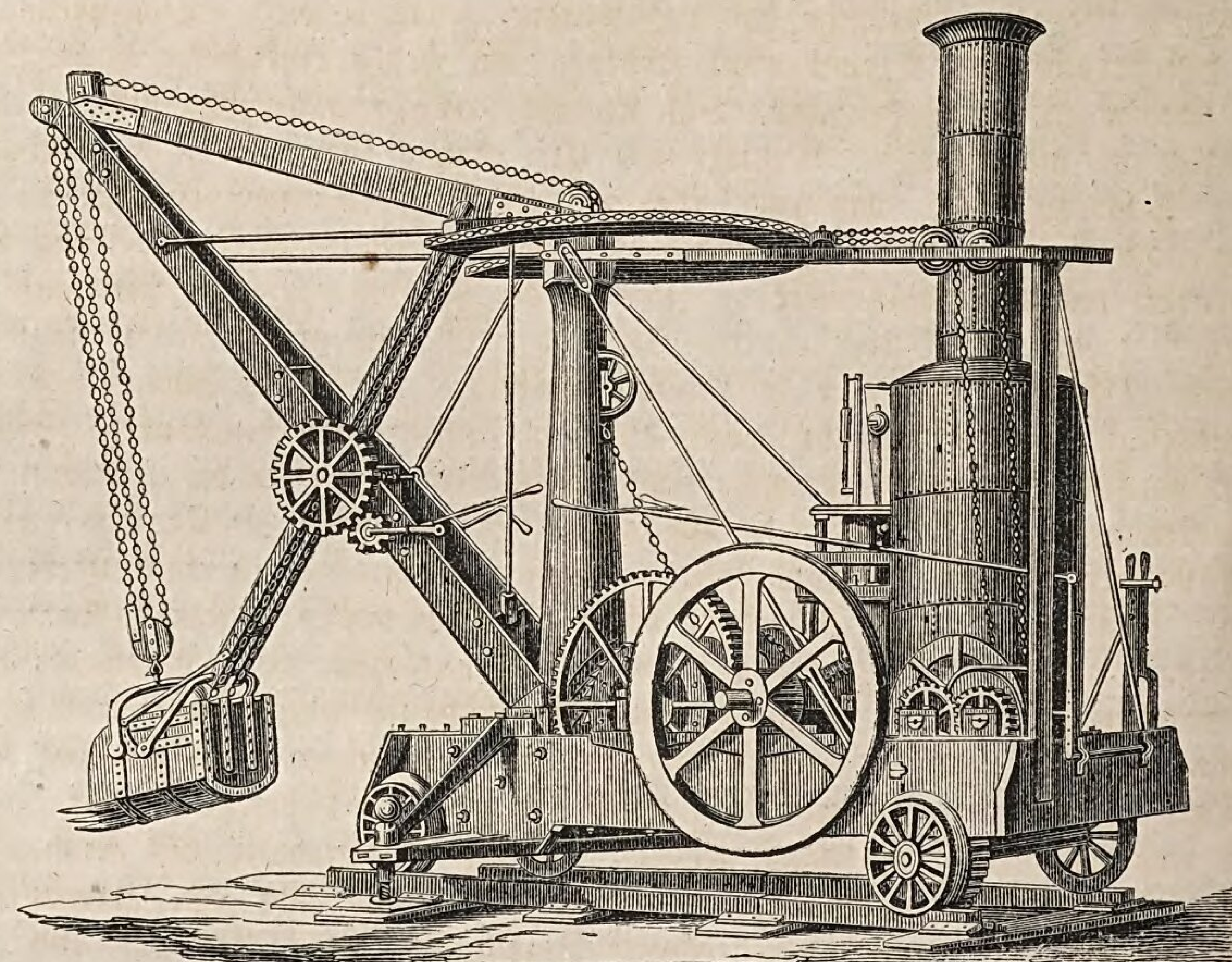
Der ganze Theil der Maschine, in welchem der Rahmen U U geht, kann der Säge näher oder entfernter gestellt werden. Dies geschieht vermittelst zweier sehr langer durchgehender Schrauben, deren Köpfe in der Abbildung mit V V bezeichnet sind. Sie sind durch eine endlose Kette verbunden, so daß eine ohne die andere nicht gedreht werden kann. Die Drehung geschieht vermittelst der Kurbel an dem einen derselben. Da die Schrauben in ihrer Längsrichtung unverrückbar sind, so bewegen sich ihre Muttern vor- oder rückwärts, je nachdem gedreht wird, und nehmen den Rahmen und was mit ihm zusammenhängt mit. Man begreift, daß von der Stellung der Schrauben die Dicke der Abschnitte abhängt und daß, wenn ein Schnitt durch ist, die Schrauben wieder um so viel gedreht werden müssen, als die Dicke des verlangten Fourniers erheischt.

Das Wellrad, welches den Laufriemen auf die Kurbeltrommel führt, macht etwa 55 Umgänge in der Minute; letztere ist 5mal kleiner und dreht sich demnach

etwa 275mal, was eben so viele Züge der Säge giebt. Bei jedem Sägezuge steigt der Holzblock etwa 1/2 Millimeter. Man kann mit einer solchen Säge 36 Quadratmeter Fourniere in einem Tage erhalten. Da die Holzplatten in der Regel nur 1/2 Millimeter Dicke haben und eben so breit auch die Sägespur ist, so folgt daraus, daß bei dieser Fabrikation die Hälfte des ganzen Holzes in Späne geschnitten wird.

Die Ausgrabemaschine. Diese ursprünglich amerikanische Erfindung macht den Dampf zum Schanzgräber, denn die Maschine ist zur Abarbeitung

Fig. 186.



von Erdreich bei Eisenbahnbauten und andern Erdarbeiten bestimmt, und vollbringt dies Geschäft viel rascher und billiger als es mit Menschenhand geschehen könnte. Besorgt von einem Maschinenwärter nebst einem Gehülfen und unter Mitwirkung von 6 Arbeitern, die das abgestochene Erdreich wegkarren, soll die Maschine in 12 Stunden 1500 Cubikklafter Erde bewegen können, wobei sie für vier Thaler Kohlen verbraucht. Die Maschine selbst kostet etwa 10,000 Thlr.

Die Maschine steht auf kleinen Rädern und wird auf einer fliegenden Schienenbahn vorgeschoben. Ihre Grundlage ist ein starker viereckiger Rahmen von Holz oder Eisen. Auf dem einen Ende dieses Rahmens erhebt sich ein starker Krahn, eine drehbare Säule mit schräg liegendem Arme, den eiserne Stangen in seiner Lage halten. Am Ende des Krahnkettenzuges hängt eine Art Schaufel oder wie man es nennen will, ein aus starkem Dampfkesselblech genieteter, oben

und an der Vorderseite offener Kasten. An der Bodenplatte dieses Kastens stehen vier oder mehrere scharfe stählerne Zinken hervor und die Räume zwischen ihnen sind ebenfalls schneidend scharf. Die Zugkette bildet zwischen der Schaufel und einer festen Rolle an der Spitze des Krahnes einen Flaschenzug und läuft von da über eine zweite auf dem Kopfe der Krahnsäule stehende feste Rolle nach der inmitten der Maschine liegenden Trommel, auf die sie sich aufwindet. Die letzterwähnte Rolle ist auf ihrem Umfange mit Treibstiften besetzt, um ihre Umdrehung durch die Kettenglieder zu sichern, denn sie hat auf ihrer Axe ein konisches Getriebe, welches in ein anderes auf einer schrägliegenden Welle sitzendes eingreift. Diese Welle ist zum Treiben eines gewissen Mechanismus bestimmt, der von den schrägen Tragstangen des Krahns gehalten wird. Der Mechanismus besteht aus einer Trommel mit Zubehör, um welche eine Kette läuft, deren beide Enden an die Enden eines Balkens oder Armes angehängt sind, welcher ebenfalls an die Schaufel befestigt ist. Der Krahn kann, wenn die Schaufel in der Schwebe hängt, wie gewöhnlich mittelst der oben liegenden Scheere und zweier nach einer zu hinterst liegenden Trommel laufenden Ketten beliebig nach links oder rechts gedreht werden, je nach der Richtung, in welcher man die Trommel dreht. Auf der andern Seite des Maschinenfundaments steht die treibende Dampfmaschine. Beim Beginn der Arbeit hängt die Schaufel an dem Flaschenzuge ziemlich senkrecht herab, die Stahlzinken gegen den Boden gerichtet. Giebt man der Aufwindetrommel freies Spiel, so senkt sich die Schaufel und bohrt sich durch ihre Schwere in die Erde. Hierauf wird die Trommel wieder rückläufig gemacht, die Schaufel wird zunächst mit ihrem Vordertheil wieder gehoben, erhält aber dabei gleichzeitig durch die nach hinten liegenden Arme eine Bewegung nach vorwärts. Es hat somit, wie man sieht, dieser arbeitende Theil eine doppelte Bewegung, welche die einer Handschaufel oder lieber eines Grabscheites nachahmt. Ist die Schaufel gefüllt und zur richtigen Höhe aufgezogen, so wird die erste Trommel durch eine Klinke in Stillstand gesetzt und die zweite durch eine Kuppelung in Gang gebracht, welche die Drehung des Krahns besorgt. Dieser führt demnach das gehobene Erdreich über den Karren, die Schaufel leert sich durch eine geeignete Vorrichtung von selbst aus und kehrt sodann in ihre erste Position zurück, um sich von neuem zu füllen.

Gebläse. Zu verschiedenen technischen Zwecken, besonders zum Ausschmelzen von Eisen und andern Metallen aus ihren Erzen, bedarf man starker Gebläse zur Unterhaltung der Feuerung, die gewöhnlich durch Wasser- oder Dampfkraft in Bewegung gesetzt werden. Zuweilen bestehen dieselben aus ungeheuren Schmiedeblasebälgen, häufiger aus weiten Cylindern mit Kolben, die ganz nach Art der Druckpumpen eingerichtet sind und ebenso wirken. Um einen ununterbrochenen Luftstrom zu gewinnen, sind diese Apparate entweder mehrfach vorhanden oder doppeltwirkend, das Cylindergebläse demnach so, daß sich sowohl über als unter dem Kolben Saug- und Druckventile befinden, und somit beim Aufgange wie beim Niedergange Wind geliefert wird. Eine weitere Regulirung der Geschwindigkeit des Luftstromes kann dadurch erzielt werden, daß die Windleitung in einen stehenden hohlen und oben offenen Cylinder ein- und wieder

ausmündet, in welchem ein mit Gewichten beschwerter Kolben auf und abgleiten kann. Wird der Windandrang stärker, so wird der beschwerte Kolben weiter nach oben gedrückt; im andern Falle sinkt er tiefer und hierdurch wird erreicht, daß der Wind immer ziemlich die gleiche Spannung behält und mit gleicher Geschwindigkeit den Cylinder verläßt. Die Windmenge, die ein Cylindergebläse liefert, wird gefunden, wenn man die Geschwindigkeit des Kolbens mit seiner Fläche multiplicirt. Wegen der unvermeidlichen Undichtheiten und anderer Behinderungen muß der so gefundene Effect in der Praxis um $1/4$ kleiner genommen werden. Die Leistung des Gebläses wird weiter vermindert durch die Reibung des Windes in den Canälen, welche er von dem Cylinder aus bis zur Ausblasemündung (der Düse) zu durchlaufen hat, und zwar ist diese Verminderung um so bedeutender, je größer dieser Weg und die Geschwindigkeit des Windes ist. Die Pressung des Windes ist demnach beim Austritt aus dem Cylinder am stärksten und nimmt mit der Länge des Weges immer mehr ab. Zur Erkennung derselben bedient man sich gewöhnlich, wie am Dampfkessel, eines Quecksilbermanometers, der eben jenes Unterschiedes halber doppelt vorhanden, nämlich nahe am Cylinder und nahe am Ausblaseorte in den Windcanal eingesetzt ist.

Nächst den Balg- oder Cylindergebläsen sind auch noch andere Vorrichtungen in Gebrauch, welche entweder auf Anwendung von Windrädern oder der Archimedischen Schraube beruhen. Man nennt sie gewöhnlich Ventilatoren, weil sie nicht allein als Gebläse, sondern auch als Mittel zur Lufterneuerung in Bergwerken und andern Räumen, so wie zum Trocknen dienen. Uebrigens ist einleuchtend, daß jede Vorrichtung, welche überhaupt dazu geeignet ist, Luft in Bewegung zu setzen, auch als Ventilator gebraucht werden kann, sei es nun daß man den Apparat im Freien frische Luft schöpfen und an einem andern Orte, wo man sie braucht, abgeben läßt, oder daß man, wie dies gewöhnlicher ist, an einem Ende des zu lüftenden Raumes Luft wegschafft und dadurch der äußern Luft Veranlassung giebt von einer andern Seite her einzudringen, so daß der Luftwechsel in Form eines continuirlichen Zuges von statten geht.

Den allgemeinen Begriff eines Ventilators giebt die bekannte Kornfegemaschine. Ein Schaufelrad, d. h. eine mit vier oder mehr breiten, mit ihren Flächen die Luft peitschenden Flügeln besetzte Welle dreht sich im Innern eines runden Gehäuses. Denken wir uns dieses Gehäuse vorerst allseitig geschlossen, und fragen was geschehen muß, wenn das Flügelrad in raschen Umlauf gesetzt wird. Die mit eingeschlossene Luft wird offenbar in die Drehung mit hineingerissen werden und in einem Wirbel laufen. Hierbei werden sich aber die Gesetze der Centrifugalkraft geltend machen: die Lufttheilchen werden sich von der Drehungsaxe zu entfernen streben und an dem Umfange des Cylinders zusammendrängen. Hier wird also die Luft am dichtesten, in der Nähe der Axe dagegen um so verdünnter sein, je rascher die Drehung erfolgt. Die Folge dieser Verschiedenheit des Luftdrucks im Cylinder wird sein, daß die innere Luft an die Innenwände des Cylindermantels nach außen preßt, während die äußere Luft in der Nähe der Axe einen Druck nach innen ausübt. Wird nun dieser

entgegengesetzten Bestrebungen Raum gegeben, indem man den Cylinder an der Axe sowohl als in einem Punkte seines Umfanges öffnet, so wird sich, so lange das Windrad im Gange ist, fortwährend ein doppelter Luftstrom bilden, die Luft wird an der Axe ein- und am Umfange ausströmen, und dieser Strom kann durch die Größe des Apparates und die Schnelligkeit der Umdrehung so weit verstärkt werden, daß er, wie es in Wirklichkeit geschieht, unter Anwendung von Wasser- oder Dampfkraft recht gut als Gebläse für Schmelz- oder Schmiedefeuer gebraucht werden kann. In dem Bau dieser Apparate, die bei gleichbleibender Umdrehungsgeschwindigkeit einen sehr gleichmäßigen Luftstrom liefern, kommen einige Verschiedenheiten vor; es giebt deren, wo die Axe des Rades nicht durch die Mitte des Cylinders geht, sondern excentrisch liegt, so daß auf der Seite, wo der Ausströmungscanal abgeht, mehr Innenraum vorhanden ist. Form und Zahl der Windflügel sind ebenfalls verschieden. Sie sind entweder gerade, oder ihre obere Hälfte ist in der Richtung ihres Umlaufs nach vorn, oder endlich auch nach hinten gebogen. Die letztere Form wird für die beste gehalten, da sich hierbei die Flügel von der Luft, welche sie in den Canal schleudern, am leichtesten losmachen können.

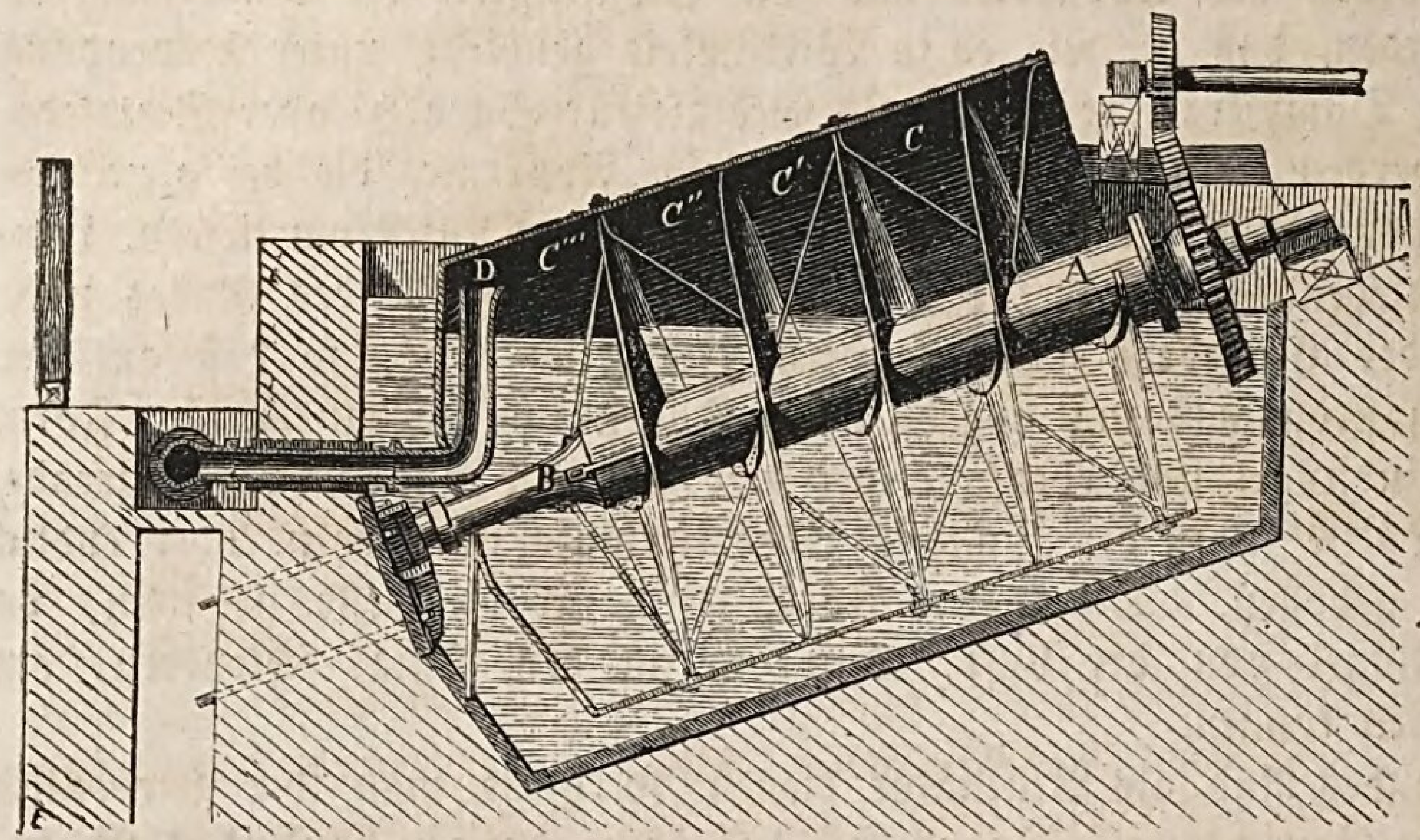
Soll ein solches Rad als Ventilator dienen, so giebt man ihm gewöhnlich eine etwas andere Einrichtung. Da es sich dabei nur darum handelt, Luft anzusaugen, nicht sie nach einem gewissen Punkte hinzudirigiren, so fällt hier der cylindrische Mantel weg und es bleiben nur die beiden Seitenwände. Das Rad liegt horizontal über dem Schachte oder Rohre, aus welchem Luft gesaugt werden soll, und gewinnt so einige Aehnlichkeit mit einem Turbinenrade; es schleudert die Luft, welche es durch eine in der Mitte der u n t e r n Platte angebrachte Oeffnung einsaugt, auf allen Punkten des Umfanges heraus.

Zu demselben Zwecke wird auch zuweilen eine breitflüglige Schraube angewendet, welche sich in einem cylindrischen Gehäuse dreht. Dies ist die uns schon bekannte archimedische Schraube, welche hier zur Luftschnecke wird, ohne daß ihre Form dadurch eine andere würde, denn es ist natürlich der Schraube einerlei, ob sie Wasser oder Luft zieht oder schiebt. Eben so ersichtlich ist, daß es auf die Richtung der Umdrehung ankommt, ob die Schraube Luft in den Schacht 2c. hineinpressen, oder solche herausziehen wird. Es kann somit auch die Schraube als Gebläse gebraucht werden. Die Stärke des durch sie zu gewinnenden Luftstroms wird selbstverständlich von ihrer Größe und der Geschwindigkeit der Umdrehung, dann aber auch davon abhängen, ob sie mehr oder weniger Nebenluft hat, d. h. ob die Ränder des Schraubenganges sich mehr oder weniger genau an die Cylinderwände anschließen. Die Schraube schiebt die Luft mit ihren Gewinden vor sich her und treibt sie zu einem Rohr hinaus, auf dessen Durchmesser es ankommt, ob der Austritt mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit erfolgt.

Die Fig. 187 dargestellte C a g n i a r d e l l e (von Cagniard-Latour erfunden) ist ein Schraubengebläse, bei welchem zur Verstärkung der Compression Wasserdruck in Mitwirkung gezogen ist. Die Einrichtung ähnelt ganz der gewöhnlichen Wasserschnecke, liegt aber tiefer als diese in einem Wasserkasten und

die Umdrehung geschieht in der entgegengesetzten Richtung, da nicht Wasser heraufgezogen, sondern Luft hindurch getriebea werden soll. Die obere leere Abtheilung ist also hier die Hauptsache, sie bildet im eigentlichen Sinne einen Blasebalg. Indem bei der Umdrehung der Schraube das eine Ende ihres Gewindes bei A aus dem Wasser tritt und auf der andern Seite wieder eintaucht, hat es eine Portion Luft abgeschnitten, die nicht mehr nach hinten entweichen kann, sondern von dem Gewinde weiter geschoben wird und so successive nach C, C′, C″ und C‴ gelangt. Da dieses Luftfassen sich bei jedem Umgange wiederholt, so erfolgt daraus eine continuirliche Luftpassage durch die obern Theile des Schraubengewindes. Da aber diese Abtheilungen in Folge der schrägen Lage immer kleiner werden, so wird die Luft immer mehr zusammengepreßt, und die Folge davon ist, daß der Wasserspiegel in jedem folgenden Gewinde mehr herabgedrückt wird. Aus der letztern Abtheilung tritt demnach die Luft mit einer der vorhandenen Spannung entsprechenden Geschwindigkeit in das Gebläserohr.

Fig. 187.

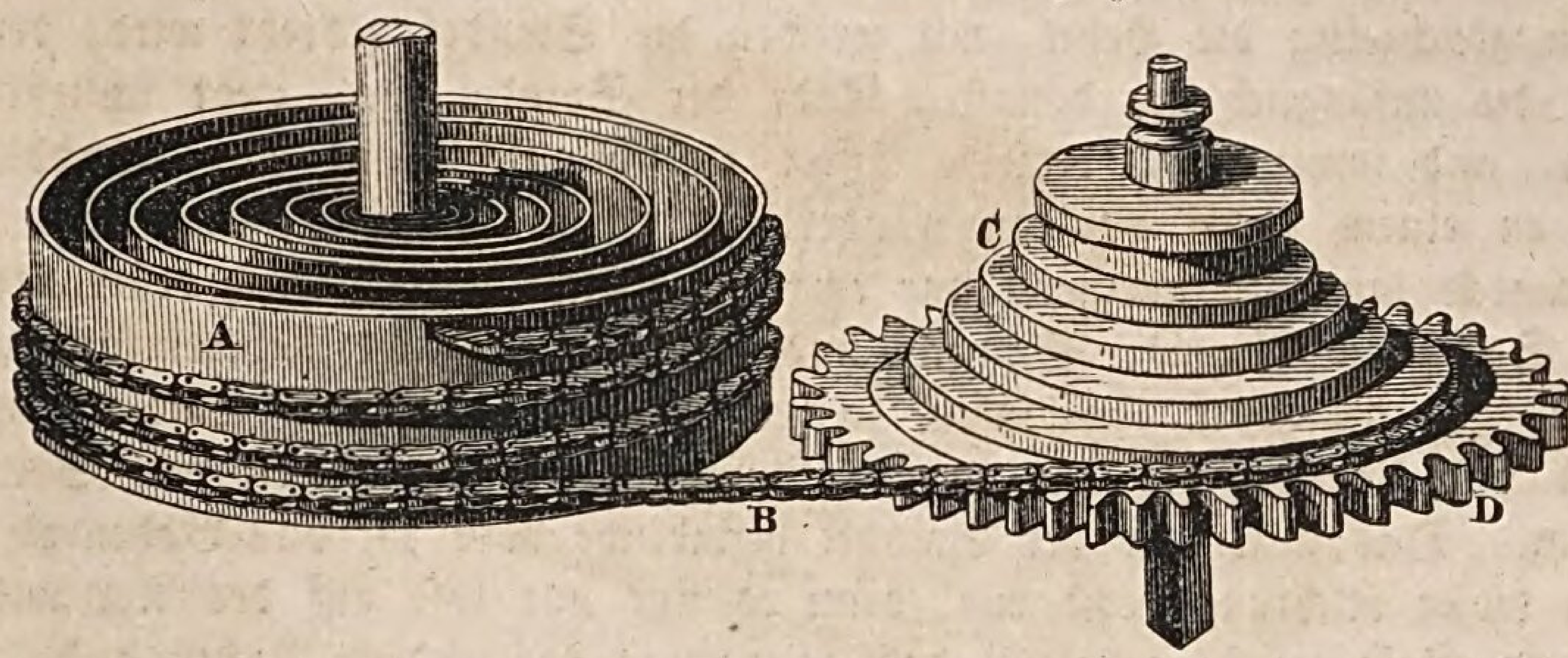


Uhrwerke. Die Uhren sind Maschinen, bei denen es ihrer Bestimmung nach ganz besonders darauf ankommt, daß ihre Bewegung eine gleichförmige sei, daß in gleichen Zeiten gleiche Räume zurückgelegt werden. Soll eine Maschine gleichförmig gehen, so müssen, wie uns bekannt, Kraft und Widerstand beständig im Gleichgewicht sein. Sind die Widerstände gleichbleibend, so darf sich auch die Größe der Kraft nicht ändern; wechseln die ersteren, so muß die Kraft in gleichem Maße zu oder abnehmen. Es begreift sich, daß bei den vielerlei Umständen, die auf den Gang einer Maschine Einfluß haben, diese Aufgabe keine leichte sein kann. Wir wollen, indem wir den Mechanismus der Uhren betrachten, sehen durch welche Mittel sie hier, wenn auch nicht vollständig, doch annähernd gelöst ist.

Uhren werden bekanntlich entweder durch Gewichte oder durch Federkraft getrieben. Bei den Gewichtuhren sitzt auf der Welle des ersten Rades eine Trommel, um welche eine Schnur in einer Anzahl Windungen gelegt ist, und neben der Trommel ein Stirnrad. An dem freien Ende der Schnur hängt das treibende Gewicht. Indem es durch seine Schwere die Trommel und die Welle dreht, wird die Bewegung durch das Stirnrad auf die übrigen Theile des Uhrwerkes übertragen.

Die Uhrfedern sind lange dünne Stahlstreifen, welche so gearbeitet sind, daß sie sich von selbst in Form einer Spirale legen. Denkt man sich das äußere Ende dieser Spirale an einen festen Punkt angehangen, das innere aber an

Fig. 188. Fig. 189.



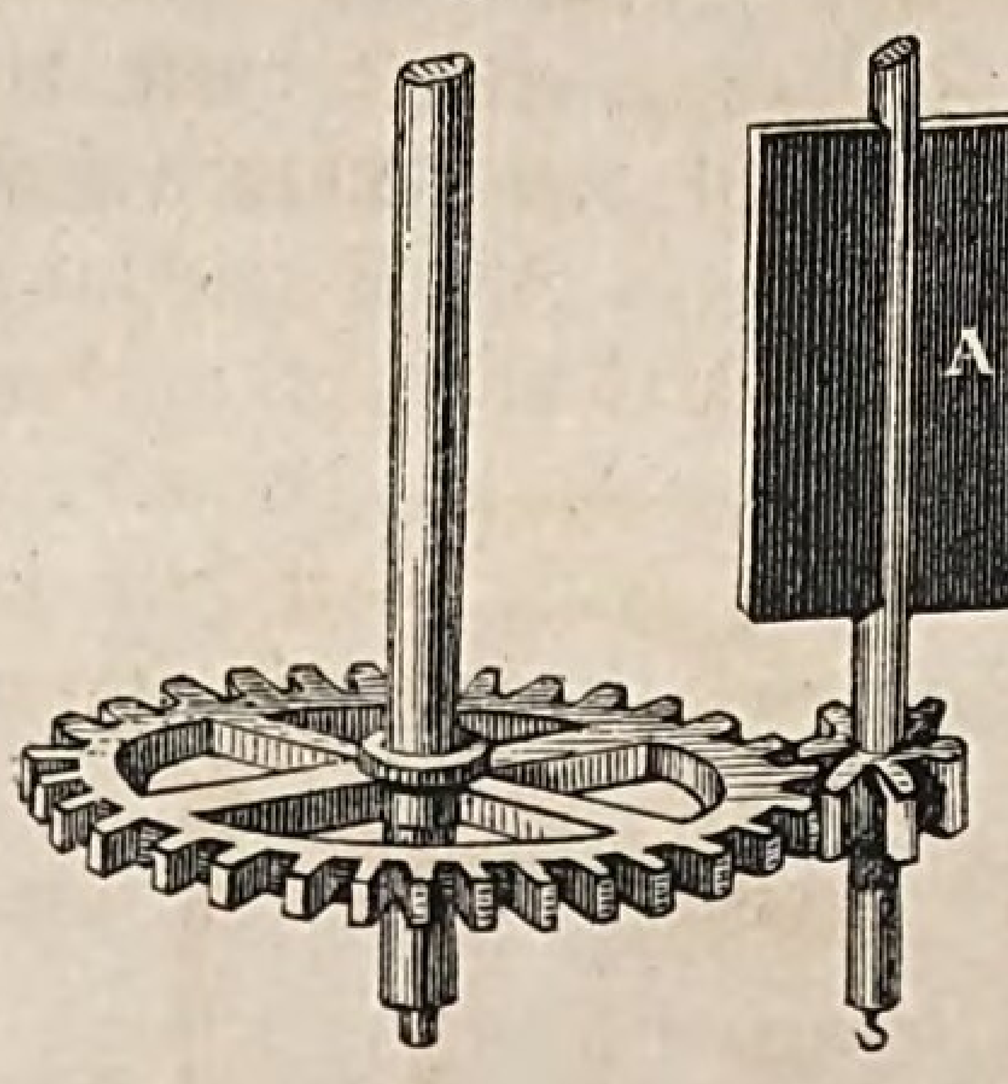
einen drehbaren Stift befestigt, so wird, wenn letzterer gedreht wird, das innere Ende der Feder mit herumgeführt werden; es werden immer mehr und engere Windungen entstehen und die Feder wird dadurch natürlich immer mehr angespannt. Läßt man schließlich den Stift fahren, so schnellt die Feder in ihre frühere Form und Lage zurück und der Stift macht nun so viele Umdrehungen, als man ihm gegeben, in der entgegengesetzten Richtung. Steht er hierbei durch ein Rad mit einem Uhrwerk in Verbindung, so kann dieses dadurch in Gang gesetzt werden. Es leuchtet nun ein, daß der Effect der nämliche sein muß, wenn man das Mittelstück ganz fest stellt und dagegen die Einrichtung trifft, daß der äußere Anhängepunkt der Feder um ihn herumbewegt werden kann. Dies ist bei den jetzigen Spindeluhren der Fall, während die erstere Form in ältern Uhren vorkommt (S. Fig. 191 C). Die Feder liegt hier in einer Kapsel (Trommel oder Federhaus) eingeschlossen und hängt mit ihrem äußern Ende an einem Punkte der innern Trommelwandung fest. Das Aufziehen der Feder geschieht nun dadurch, daß man die Trommel in der entsprechenden Richtung umdreht.

Zwischen der Wirkung eines Gewichts und einer gespannten Feder besteht ein sofort in die Augen fallender Unterschied. Während bei dem ersten die Kraft immer in derselben Stärke fortwirkt, zieht die Feder anfänglich am stärksten und ihre Kraft nimmt von da an immer mehr ab, bis sie endlich, in ihre erste Lage zurückgekehrt, ganz stillsteht. Um nun hieraus doch eine gleichmäßige Bewegung abzuleiten, läßt man die Feder nicht unmittelbar, sondern vermöge der sog. Spindel oder Schnecke auf das Uhrwerk wirken. Sie besteht (Fig. 189) aus einem kegelförmigen Körper, auf welchen ein schneckenförmig gewundener Gang zur Aufnahme einer gegliederten Kette geschnitten ist, die einerseits an der Trommel, andererseits an eben dieser Schnecke festsitzt. Ist die Feder völlig angespannt, so liegt fast die ganze Kette auf dem Schneckengewinde und läuft von der dünnsten Stelle herüber nach ihrem Anhängepunkte an der Trommel.

Die Feder strebt nun die Trommel und die durch die Kette mit dieser verbundene Spindel zu drehen und die Bewegung wird von dem auf der Spindelaxe sitzenden Stirnrade auf das übrige Uhrwerk übertragen. Während sich nun die Kette von der Spindel ab und auf die Trommel wickelt, wird die Spannung und also die Zugkraft immer schwächer; aber mit dieser Abnahme der Kraft wachsen gleichzeitig die Hebel, mit welchen die Spindel gedreht wird, denn die Kette, die anfänglich am dünnsten Ende der Spindel zog, zieht schließlich am dicksten, und somit wird derselbe Effect erreicht als wenn eine gleichbleibende Kraft an einem Hebel von unveränderlicher Länge gezogen hätte. Die Form der Schnecke läßt sich übrigens nur empirisch, nicht mathematisch bestimmen, und es ist Sache der Praxis, Schnecke und Feder in leidliche Uebereinstimmung zu bringen. Ist die Feder abgelaufen, so spannt man sie dadurch wieder, daß man mittelst des Uhrschlüssels die an der Außenseite viereckig geformte Spindelaxe umdreht. Das unterhalb der Spindel befindliche Rad D, das Bodenrad, dreht sich in dieser Richtung nicht mit, denn es sitzt nur lose auf der Axe und wird durch ein Gesperre so gehalten, daß es nur in der andern Richtung der Spindel folgen muß.

Ein anderes Mittel zur Herstellung einer gleichförmigen Geschwindigkeit bieten die sog. Windfänge. Sie wirken derart, daß sie einer wachsenden Geschwindigkeit einen wachsenden Widerstand entgegensetzen, bis Kraft und Widerstand im Gleichgewicht sind und das Werk nun in gleichmäßiger Geschwindigkeit fortgeht. Läßt man das erste Wellrad eines Mechanismus in das Getriebe eines zweiten, dieses in ein drittes u. s. w. eingreifen, so wächst die Geschwindigkeit der Wellen nach Maßgabe der Verhältnisse ihrer Räder und Getriebe. Versieht man nun die letzte, am raschesten umlaufende Welle mit Schaufeln oder Platten wie etwa Fig. 190, so werden diese durch die umgebende Luft einen Widerstand erfahren, der wie das Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Zu Anfang der Bewegung wird dieser Widerstand nur gering und also der Gang des Werks ein wachsend

Fig. 190.

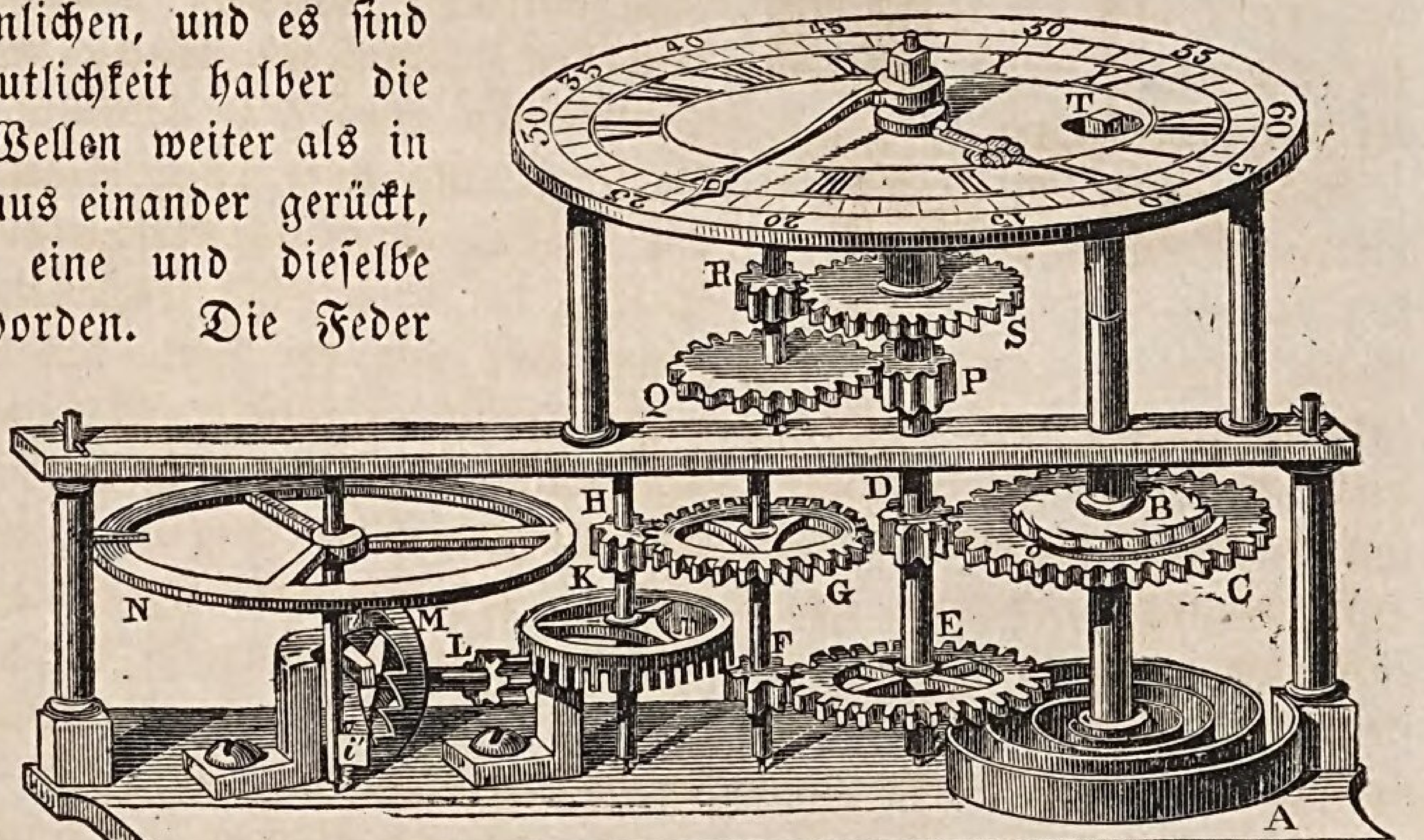


beschleunigter sein; da aber der Widerstand in größerm Maße wächst, so wird endlich Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand, demnach eine gleichförmige Bewegung eintreten. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist der Ausdruck des Verhältnisses zwischen der Kraft und den Widerständen, und es wird also eine Modification an einem dieser beiden Factoren auch eine veränderte Geschwindigkeit zur Folge haben. Ein durch einen Windfang regulirtes Werk wird also langsamer gehen wenn man entweder die Kraft, also z. B. das Gewicht vermindert, oder den Widerstand, hier also die Flächen des Windfanges vergrößert und umgekehrt. Um das letztere bequem zu können, sind bei größern Werken die Windflügel meist verstellbar gemacht, so daß man der Luft entweder die vollen Flächen zukehren, oder sie unter einem beliebigen Winkel durchschneiden lassen kann.

Läßt sich nun aber auch durch den Luftwiderstand eine gleichförmige Bewegung von beliebiger Geschwindigkeit (mit Gewicht direct, mit Feder durch Vermittelung einer Schnecke) erzeugen, so ist dieselbe doch nicht von solcher Genauigkeit, wie sie für den Gang einer Uhr erforderlich ist. Denn der Luftwiderstand selbst ändert sich mit der Temperatur und Dichte der Luft, und außerdem hat jeder kleine Luftzug, jede momentane Vermehrung oder Verminderung der Reibung in dem gehenden Werke Einfluß auf das Gleichgewicht der Kräfte und folglich auf die Geschwindigkeit. Man benutzt daher diesen Regulator nur da, wo eine ganz regelmäßige Bewegung nicht so nothwendig ist, also besonders an den Schlagwerken der Uhren, außerdem an selbstspielenden Musikwerken und andern automatischen Maschinerien. Bei der Schwierigkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit, Zeitmesser mit stetiger gleichförmiger Bewegung herzustellen, muß man sich mit einer absatzweisen gleichförmigen Bewegung begnügen, obwohl auch hierbei sich noch der Schwierigkeiten genug zeigen. Man verbindet deshalb mit den Uhrwerken ein regelmäßig schwingendes Stück, das bei jeder Schwingung das ganze Räderwerk in Stillstand versetzt. Hierdurch wird die Bewegung der Räder und Zeiger eine unterbrochene, ruckweise, wie man wenigstens an Secundenzeigern deutlich sehen kann. Der schwingende Körper heißt der Regulator, und derjenige Theil, mit welchem er in das Räderwerk eingreift, die Hemmung oder das Echappement.

Der erste in Uhren angewandte Regulator bestand aus einem kleinen Schwungrad, dem Balancier, welches durch die seitlichen Stöße, die ihm von dem Uhrwerke mitgetheilt wurden, eine schwingende Bewegung erhielt, wie dies noch jetzt bei Taschenuhren der Fall ist. In Fig. 191 liegt dieser Theil bei N. Es soll diese Figur überhaupt die allgemeine Einrichtung eines ältern Uhrwerkes versinnlichen, und es sind der größern Deutlichkeit halber die Räder auf den Wellen weiter als in der Wirklichkeit aus einander gerückt, und letztere in eine und dieselbe Ebene gestellt worden. Die Feder

Fig. 191.



A, am äußern Ende festgelegt, dreht den Federstift, auf welchem das Sperrrad B festsitzt, welches in Folge des Eingriffs des Sperrkegels o das Stirnrad C

in der einen Richtung mitnimmt. Letzteres Rad greift in das Getriebe D, wodurch das Rad E gedreht wird, das wieder mittelst des Getriebes F das Rad G dreht. Von G geht die Bewegung auf das Getriebe H und das Kronrad K, und letzteres treibt durch Getriebe L das Steigrad M. An der stehenden Axe oder Spindel des kleinen Schwungrades sind zwei, zusammen einen rechten Winkel bildende Plättchen i und i' derart angesetzt, daß sie, eines oben, das andere unten, in die schräg geschnittenen Zähne des Steigrades eingreifen. Erhält nun das Plättchen i von der steilen Kante eines Zahnes einen Stoß nach der einen Seite und dadurch das Schwungrädchen eine kurze Drehung, so stellt sich alsbald das Plättchen i' einem andern Zahne in den Weg, erhält von diesem einen Stoß, das Schwungrädchen wird wieder nach der andern Seite herum geworfen und so fort. Das Steigrad und die beiden Spindelansätze bilden demnach hier die Hemmung und zwar eine sog. Hemmung mit Rücklauf, weil jedesmal, wenn ein Plättchen mit einem Zahn zusammentrifft, das Steigrad durch den Schwung des Balanciers ein wenig zurückgetrieben wird, bis dieser seine Bewegung verloren hat und dem Impulse nach der andern Seite hin folgen kann. Die Stöße, welche die Spindel erhält, müssen also je nach der vorhandenen Triebkraft stärker oder schwächer sein. Bei stärkerer Kraft ist der Rücklauf kürzer, die Spindel wird eher zum Umkehren genöthigt und das Werk geht schneller. Vermindert sich die Kraft, sei es durch momentan eintretende größere Reibung, oder durch Abspannung der Feder, wenn keine Schnecke vorhanden ist, so wird der Gang langsamer. Es ist demnach auch diese Vorrichtung noch kein besonders guter Regulator, und leistet nur dann etwas, wenn die Kraft möglichst gleichmäßig erhalten wird und die Reibungen möglichst vermindert sind. Einen Regulator von viel besserer Beschaffenheit giebt aber das Pendel, da die Gleichförmigkeit seiner Schwingungen weit weniger von den Veränderungen in der Kraft und den übrigen Widerständen beeinflußt wird. Wir werden darauf zurückkommen, nachdem wir die übrigen Theile des unter Fig. 191 dargestellten Uhrwerks betrachtet haben werden.

Die obere Abtheilung desselben zeigt die Einrichtung, vermöge welcher die beiden Zeiger ihren Umlauf auf dem Zifferblatt mit verschiedener Geschwindigkeit machen. Die Welle E geht durch das ganze Werk hindurch und trägt an ihrem Ende den Minutenzeiger. Feder und Regulator müssen demnach so zusammenstimmen, daß diese Welle sich gerade in der Stunde einmal dreht. Auf derselben Welle sitzt das Getriebe P; es greift in das Rad Q, dreht dieses und das Getriebe R, das seinerseits das Rad S dreht; letzteres sitzt auf einer Hülse, durch welche der Minutenzeiger frei hindurch geht. Diese Hülse reicht ebenfalls durch das Zifferblatt hinaus und auf ihr ist der Stundenzeiger aufgesteckt. Das Getriebe P hat 8 Zähne, das Rad Q 24, mithin geht die Welle von Q 3mal langsamer als die Welle E; weiter hat das Getriebe R 8 Zähne und das Rad S deren 32, wodurch die Bewegung wieder um das 4fache verlangsamt wird. Die Geschwindigkeit der Hülse mit dem Stundenzeiger ist demnach nur $^1/_{12}$ von der der Welle E mit dem Minutenzeiger; ersterer kommt einmal herum, wenn letzterer 12 Umgänge macht.

Es hängt somit, wie man leicht sieht, die Bewegung des Zeigerwerks ganz von der Welle E ab. Damit man aber die Uhr auch stellen könne, muß eine Einrichtung getroffen sein, daß die Zeiger sich allein vor- und rückwärts drehen lassen, ohne daß das ganze Uhrwerk an der Bewegung theilnimmt. Die Welle E besteht demzufolge aus zwei Stücken, welche zwischen den Getrieben D und P derart zusammengesteckt sind, daß das eine Stück hohl ist und ein cylindrischer Fortsatz des andern in diese Büchse hineingeht. Die Reibung zwischen den beiden zusammengesteckten Stücken ist groß genug, daß sie sich beim Gange der Uhr wie ein einziges Stück verhalten, daß also die Bewegung, ohne daß Gleitung eintritt, von P auf Q, R, S und die Zeiger fortgepflanzt wird; wird dagegen der Minutenzeiger gedreht, so drehen sich zwar die Räder und Getriebe des Zeigerwerks und der Stundenzeiger auch, aber der untere Theil der Welle mit dem Getriebe D u. s. w. bleibt stehen, weil das ganze Gehwerk sich seiner Drehung widersetzt und dieser Widerstand größer ist als die Reibung zwischen den aufeinandergebüchsten beiden Theilen der Welle. Aus dieser Einrichtung wird zugleich ersichtlich, warum man nur am Minutenzeiger, nicht aber am Stundenzeiger drehen darf; denn hierbei würde der Widerstand an der Welle auf einem bedeutenden Umwege angegriffen und an das Ende eines so langen Lasthebels verlegt, daß der kurze Krafthebel, der Zeiger, entweder abbrechen oder auf seinem Sitze los werden würde.

Der Federstift treibt, wie man sieht, den ganzen Mechanismus vermittelst des Rades C. Wäre dieses auf seiner Welle fest, so müßte nothwendig beim Aufziehen der Uhr das ganze Werk, die Zeiger mit inbegriffen, um so viel rückwärts getrieben werden, als es vorher vorwärts gegangen war. So aber ist das Rad B auf der Welle drehbar, und nur das darüberliegende Sperrrad B fest. Beim Vorwärtsgehen stemmt sich der auf dem Rade C sitzende Sperrkegel vermöge einer Feder gegen die steile Seite eines Sperrzahnes und das Rad C wird so mit herumgeführt, als wenn es auf der Welle festsäße; beim Rückwärtsdrehen mittelst des Uhrschlüssels dagegen gleitet der Sperrkegel auf den schrägen Seiten der Sperrradzähne, wodurch das bekannte Schnarren entsteht, und das Rad C bleibt in Ruhe.

Ueber das Wesen des Pendels ist schon S. 21 ff. das Nöthige gesagt worden; wir haben daher hier nur seine Anwendung auf Uhrwerke zu betrachten.

Wir wissen, daß Pendelschwingungen, wenn sie nicht gar zu weit ausgreifen, immer in derselben Zeit erfolgen, so lange die Länge des Pendels dieselbe bleibt, mögen nun die Schwingungen etwas größer oder kleiner sein, und hierauf beruht eben die große Brauchbarkeit des Pendels als Regulator für Zeitmesser. Die Kraft kann hier momentan etwas größer oder kleiner, daher die Schwingungen länger oder kürzer werden; da sie aber immer in gleichen Zeiten erfolgen, so bleibt der Gang der Uhr dennoch gleichförmig.

Die Verbindung des Pendels mit der Uhr geschieht am gewöhnlichsten durch eine Ankerhemmung (Fig. 192). Das gekrümmte Stück A B C heißt der Anker; er sitzt oben an einer liegenden Welle D fest. Von dieser Welle geht, wie die folgende Figur zeigt, ein Stäbchen senkrecht herab, das unten mit

einer Art Gabel die Stange des Pendels, welche an einem besondern Punkte angehangen ist, umfaßt. Die Berührung zwischen der Gabel und der Pendelstange bildet die einzige Verbindung, in welcher das Uhrwerk mit dem Pendel steht. In Folge dieses Zusammenhanges schwingt nun gleichzeitig mit dem Pendel der Anker A B C D. Es kann aber dieses letztere Stück verschiedene Formen haben; namentlich kann die senkrechte Stange fehlen und der Bogen gleich auf der Welle D sitzen, wobei die einwärts gekehrten Enden des Ankers, da sie dann auf einem kleinern Kreise gehen, eine etwas andere Form haben. Zwischen den beiden Krampen des Ankers nun steht das oberste Rad des Gehwerks, das

Fig. 192.

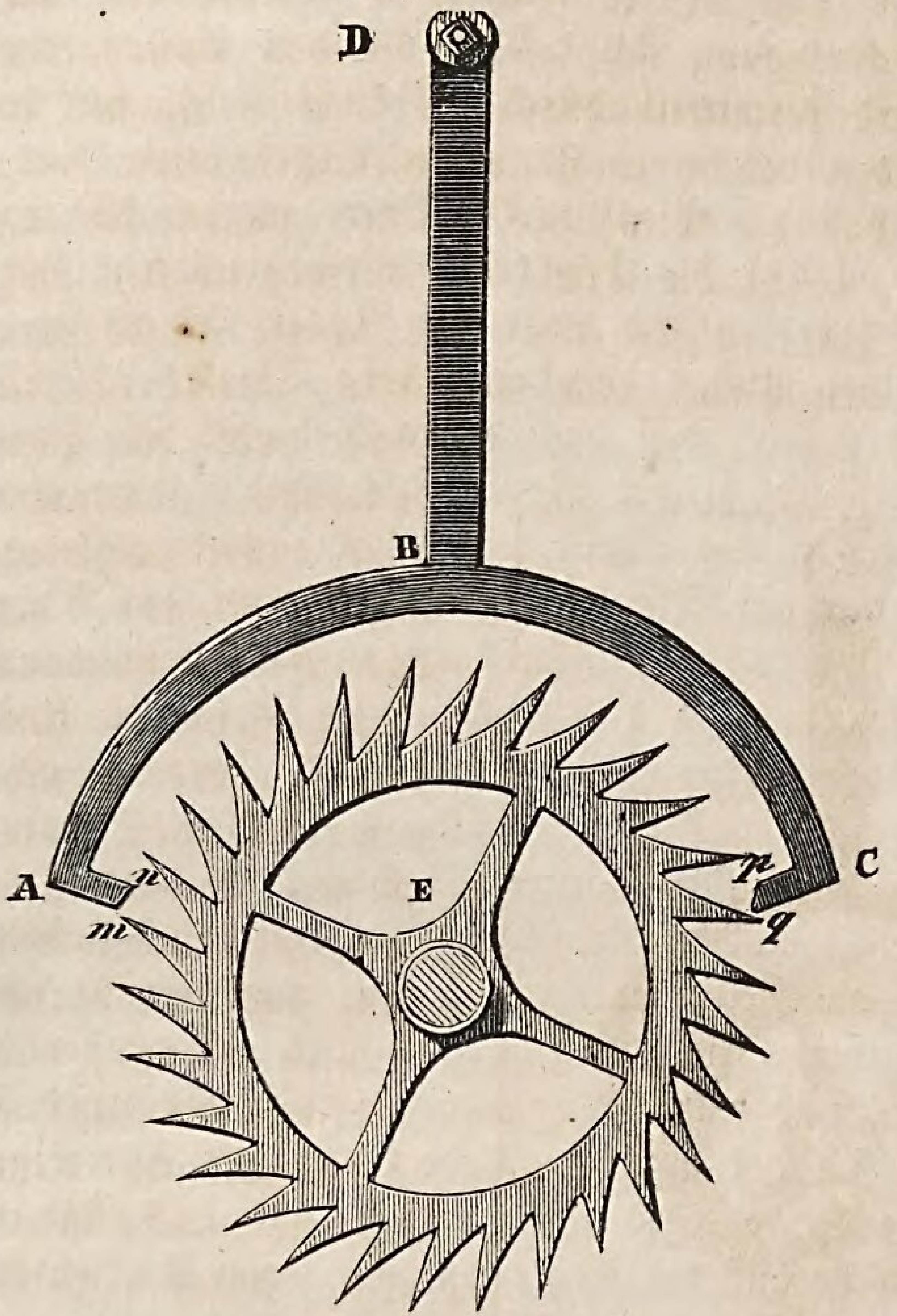
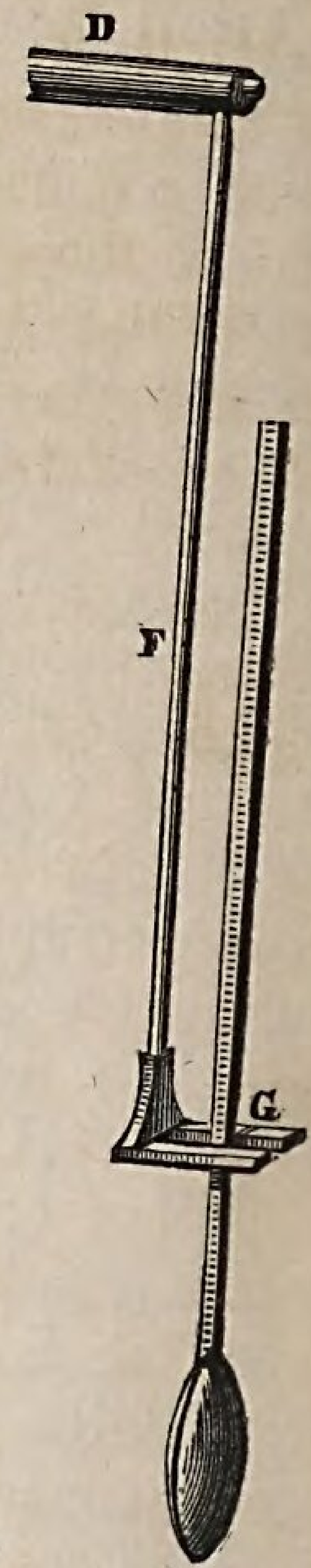


Fig. 193.

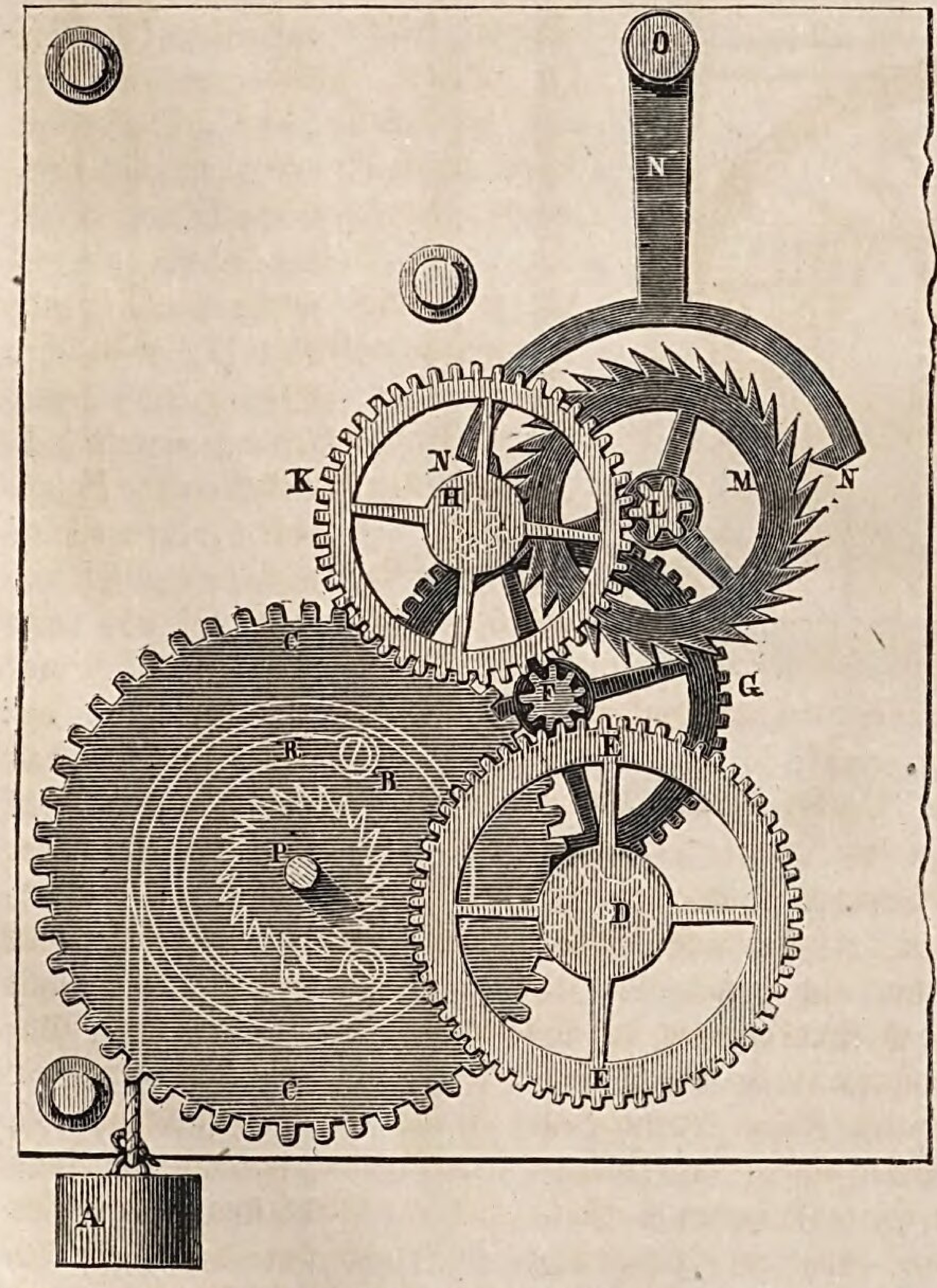


Steigrad E, das die größte Geschwindigkeit hat, und von der Kraft in der Richtung A B C gedreht wird, so weit der Eingriff des Ankers diese Bewegung zuläßt. Hängt das Pendel bewegungslos, so kann sich auch das Räderwerk nicht bewegen, denn die untere Krampe A und die obere von B stellen den Zähnen einen Widerstand entgegen, den sie für sich nicht beseitigen können. Das Pendel muß daher erst einen Anstoß von außen erhalten. Geschieht dies nach irgend einer Seite hin, so kommt die Uhr in Gang. Unsere Abbildung zeigt den Moment, wie das Pendel eben die Schwingung von rechts nach links macht. Dadurch ist die Krampe A soweit von den Zähnen zurückgetreten, daß der Zahn m an ihrer schiefen Fläche vorbeigleiten kann; die Krampe C hat sich aber in Folge derselben Schwingung den Zähnen soweit genähert, daß der Zahn p sogleich auf der obern Seite desselben aufstößt und die Bewegung nun wieder aufhört. Hat sich der eine Zahn vorbeigedrängt, so erfolgt der Rückschlag des Pendels und die Krampe greift in die zunächst hinter demselben befindliche Lücke wieder ein. Es gehören somit zu jeder Fortrückung des Rades um einen Zahn

zwei Pendelschläge und jeder einzelne Zahn hat, da auf beiden Radseiten abwechselnd ganz dasselbe vorgeht, auf jedem Umgange doppelte Arbeit, indem er auf der einen Seite den Anker hierhin, auf der andern Seite dorthin drücken muß.

Während so der Gang des Räderwerks von den Schwingungen des Pendels abhängig gemacht ist, empfängt das letztere seinerseits wieder von der Triebkraft der Uhr einen bei jeder Schwingung sich wiederholenden Anstoß, der den Pendelgang unterhält. Dies wird vermittelt durch die schiefen Flächen m n und p q, welche an den innern Enden der beiden Krampen angeschnitten sind. Ist eine Krampe so weit ausgerückt, daß die Kante des Zahnes an den Anfang der schiefen Flächen zu stehen kommt, so ist die Triebkraft vermögend den Rest des Widerstandes zu beseitigen; der Zahn gleitet über die schiefe Fläche weg und der Anker erhält währenddem einen Druck nach auswärts, der durch die Gabel auf die Pendelstange übertragen wird. Der beschleunigende Anstoß, den das Pendel hierdurch erhält, gleicht die Hindernisse aus, welche außerdem seine Schwingungen immer mehr verkleinern und endlich ganz zum Stillstande bringen würden; vielmehr erhalten nun alle Schwingungen ziemlich die gleiche Weite und daher gleiche Dauer.

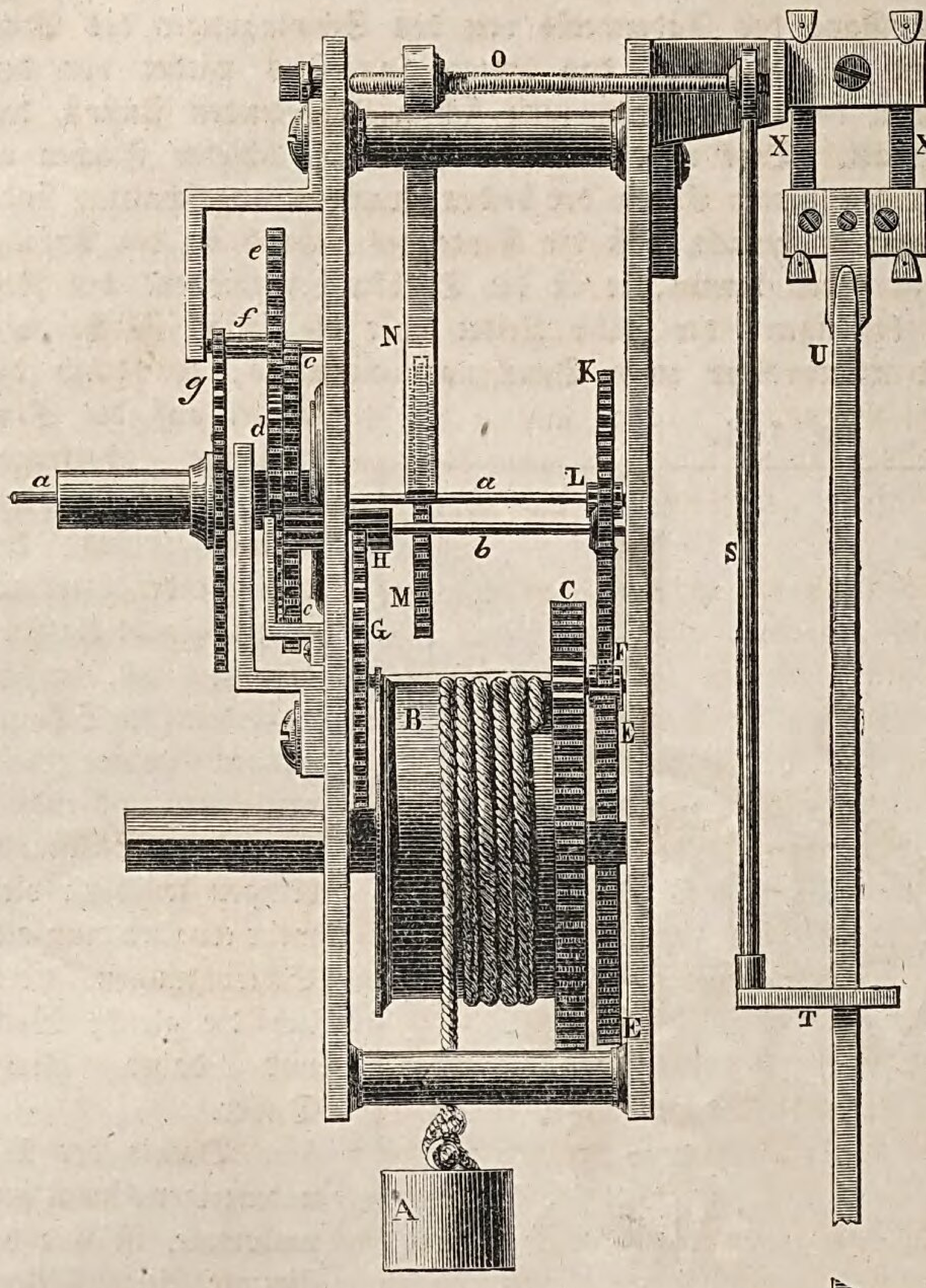
Fig. 194.



Damit der Minutenzeiger einmal herumkomme, ist eine bestimmte Anzahl Pendelschläge erforderlich, und durch die richtige Länge des Pendels wird es dann bewirkt, daß diese Zahl sich gerade in einer Zeitstunde erfüllt. Ist das Pendel zu kurz, so erfolgt in einer Stunde eine größere Anzahl Schläge als die verlangten, und die Uhr geht vor; das Gegentheil findet bei zu großer Länge des Pendels statt. Deshalb sind die

Pendel meist so eingerichtet, daß man sie durch Verschieben der Linse nach Bedarf verlängern und verkürzen kann.

Fig. 195.





Die Abbildungen Fig. 194 und 195 zeigen die gewöhnliche Einrichtung eines Uhrwerks m[illegible] hemmung. A ist das treibende Gewicht, dessen Schnur sich um den Cylinder B windet. Es wirkt dadurch drehend auf den Cylinder und auf das Rad C. Dieses Rad greift in das Getriebe D und treibt dadurch das auf derselben Welle sitzende Rad D; in gleicher Weise geht die Uebersetzung von Rad D auf Getriebe F und Rad G, von diesem auf Getriebe H und Rad K und von diesem endlich auf Getriebe L, auf dessen Welle das Hemmungsrad M sitzt. N N ist der Anker, dessen Welle O in Fig. 195 mit dem Führungsstäbchen S und der Gabel T zu sehen ist. Die Pendelstange U, an der unten die Linse V sitzt, geht zwischen den Schenkeln dieser Gabel hindurch. Sie hängt oberhalb an zwei Uhrfederstückchen X X, die sich nach Maßgabe der Schwingungen hin und herbiegen.

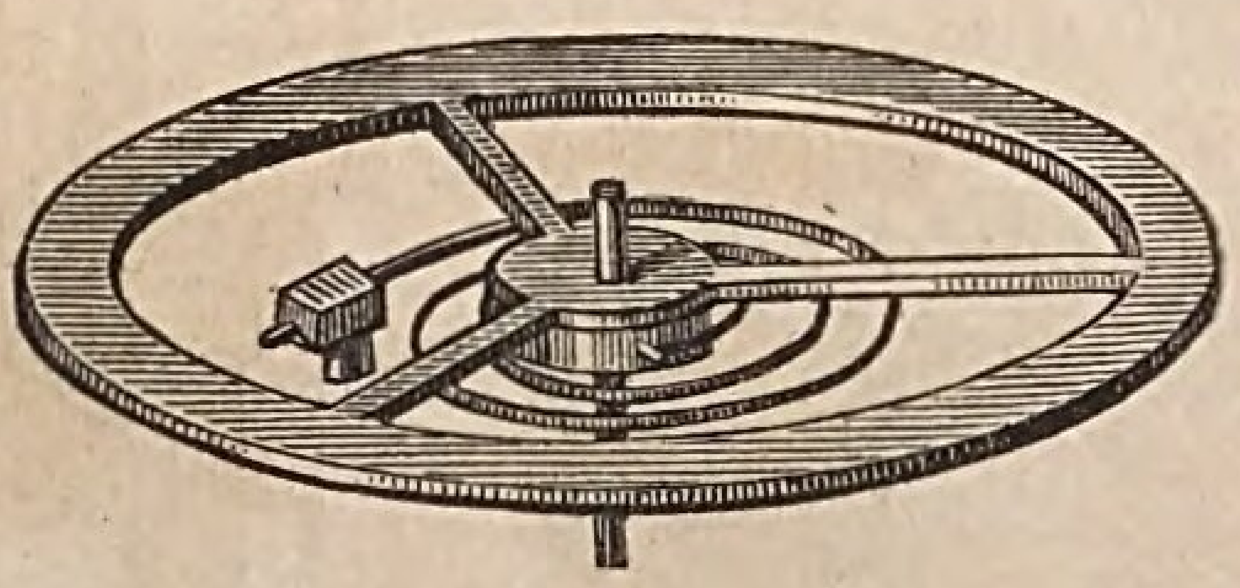
Ist das Pendel ein Secundenpendel, d. h. hat jede seiner Schwingungen genau die Dauer einer Secunde, so wird auf die Welle des Hemmrades der Secundenzeiger aufgesteckt. Dieses Rad hat 30 Zähne, und da zwei Pendelschläge erfolgen müssen, ehe ein Zahn die Stelle des vorhergehenden einnimmt, so folgt daraus, daß der Secundenzeiger in 60 Secunden oder einer Minute einen ganzen Umlauf macht. Auf der mit b

bezeichneten Welle des Rades K sitzt links das lange Getriebe H, das in ein Rad c eingreift. Die Welle von c ist hohl, umgiebt die Welle des Secundenzeigers und auf ihr ist der Minutenzeiger aufgesteckt. Dieselbe hohle Welle trägt neben c noch ein Rad d, von welchem sich die Bewegung in derselben Weise wie bei dem zuerst dargestellten Uhrwerk zunächst auf ein Rad e fortpflanzt, dessen Getriebe f in ein Rad g greift. Vermöge dieser Uebersetzung ins Langsamere dreht sich die Welle des letztern Rades nur mit $^1/_{12}$ der Geschwindigkeit, welche die Welle des Minutenzeigers hat, und ist demnach bestimmt den Stundenzeiger zu tragen. Sie ist natürlich ebenfalls hohl und umgiebt die hohle Welle des Minutenzeigers.

Um das abgelaufene Uhrwerk wieder aufziehen zu können, ist das Rad C auf der Welle der Trommel nicht fest, sondern beide Stücke sind durch ein Sperrrad in der Weise verbunden, daß sie nur in der Richtung, in welcher das Gewicht zieht, mit einander laufen, während, wenn die Trommel mit dem Schlüssel in entgegengesetzter Richtung gedreht wird, das Rad C und folglich das ganze Werk stillsteht.

Bei tragbaren Uhren ist ein Pendel nicht anwendbar und die Anwendung eines andern Regulators geboten. Man hat hierzu den alten Balancier benutzt, ihn aber mit einer feinen stählernen Spiralfeder verbunden, wodurch er einigermaßen befähigt wird, selbstständige Schwingungen zu machen und so das Pendel zu vertreten, während er in seiner frühern Form seine ganze Bewegung von dem Uhrwerke selbst erhalten mußte. Das innere Ende der Spirale ist an die Axe des Schwungrädchens, das äußere an eine Stelle der Uhrplatte befestigt. Bei einer gewissen Lage der Spirale ist Gleichgewicht vorhanden und das Rädchen bleibt in Ruhe; entfernt man es nach einer oder der andern Seite hin aus der Ruhelage, so erleidet die Feder eine Formveränderung und strebt vermöge ihrer Elastizität in die frühere Form zurückzukehren. Ist dies aber geschehen, so bleibt das Schwungrad nicht auf diesem Punkte stehen, sondern schlägt vermöge der erlangten Geschwindigkeit nach der andern Seite über; die Feder erfährt eine Formveränderung im entgegengesetzten Sinne; sie widerstrebt dem Fortgange des Schwungrades mit wachsendem Widerstande so lange bis dieses zum Stillstande kommt; die Feder zieht nun das Schwungrad zurück, die Gleichgewichtslage wird dabei wieder etwas überschritten, es erfolgt eine abermalige Umkehr und so fort. Diese Bewegung hat offenbar Analogie mit der des Pendels, und man könnte sagen die Elasticität der Spirale leiste hier dasselbe wie in jenem Falle die Schwerkraft. Auch in dem wichtigen Punkte herrscht Uebereinstimmung, daß die freien Schwingungen der Unruhe, wenigstens wenn die Spirale gut ist, in gleichen Zeiten erfolgen, gleichviel ob der Ausgriff größer oder kleiner ist. Daneben ist aber die Bewegung der Unruhe viel abhängiger von der bewegenden Kraft, als dies beim Pendel der Fall ist. Nach Sully's Angaben lief eine sonst richtig gehende Pendeluhr,

Fig. 196.

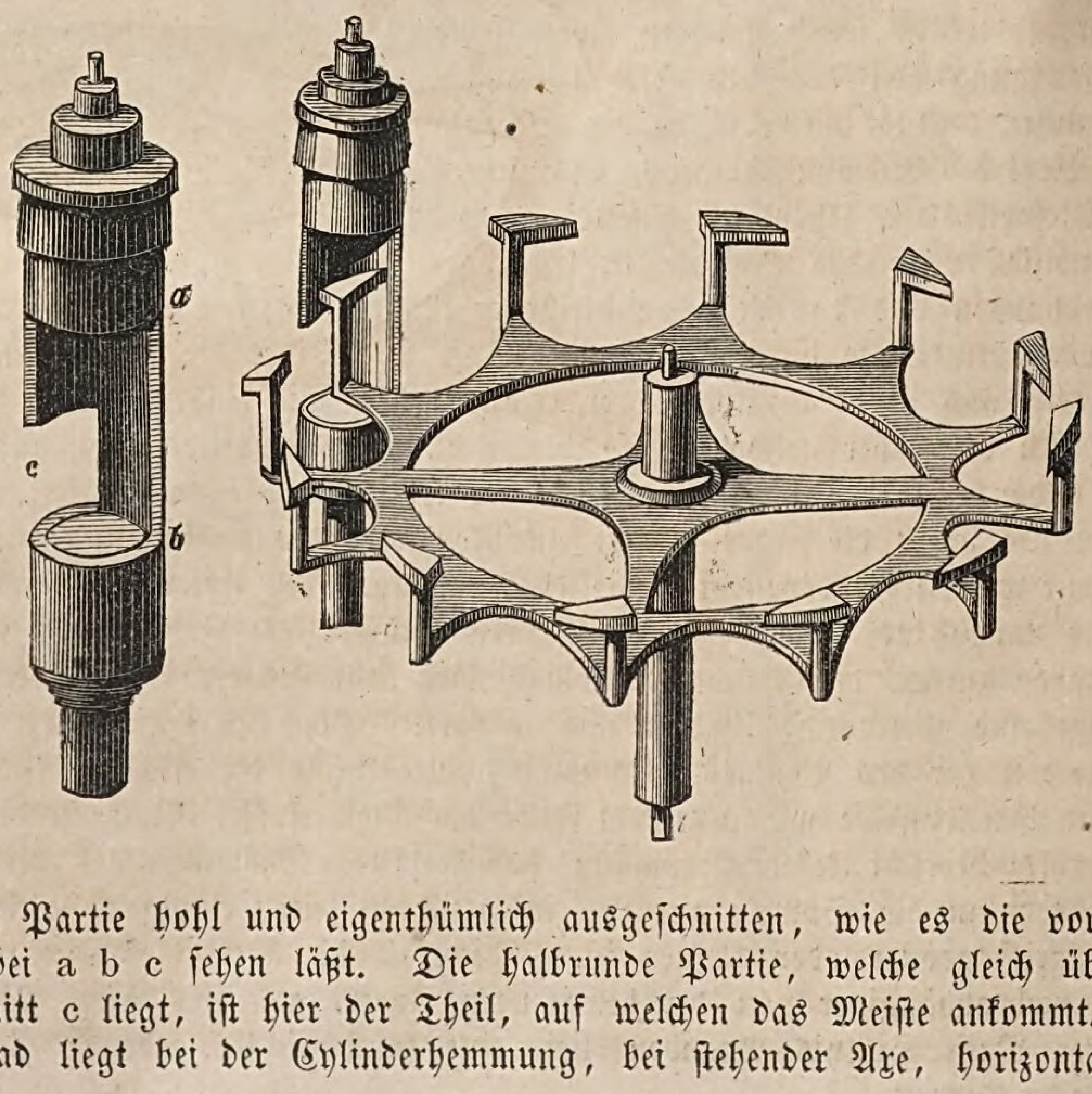


die man mit dem doppelten Gewicht behangen hatte, in 24 Stunden nur eine Minute vor, während eine Taschenuhr mit doppelt starker Feder in 24 Stunden 6 Stunden voreilte. Es begreift sich hiernach, daß die Verbesserungen, welche in neuerer Zeit mit den Uhren vorgenommen worden, hauptsächlich auch auf Hemmungen gerichtet sein mußten, die weniger unter dem Einflusse der Triebkraft stehen.

Lange Zeit hat man die in Fig. 192 ersichtliche Hemmung mit Rücklauf angewendet, nur daß man noch die Spirale an ihr anbrachte. Bei geringern Uhren findet sich diese Einrichtung noch jetzt vor. Die Bewegung wurde durch Hinzunahme der Spirale bedeutend regelmäßiger als früher; indeß blieb noch viel zu wünschen übrig. Die Spirale vervollkommnete nur das Schwungrad; die Hemmung selbst wurde dadurch nicht besser. In neuerer Zeit sind nun statt jener Hemmung mit den beiden Spindellappen hauptsächlich zwei andere Formen angenommen worden, durch welche man den Gang der Uhren auf einen hohen Grad von Genauigkeit gebracht hat.

Die erste Art ist die sog. Cylinderhemmung, welche bei den flachen Uhren, die eben deshalb Cylinderuhren heißen, in Anwendung kommt. Hier hat die Axe der Unruhe nicht mehr die zwei Läppchen, sondern sie ist in ihrer

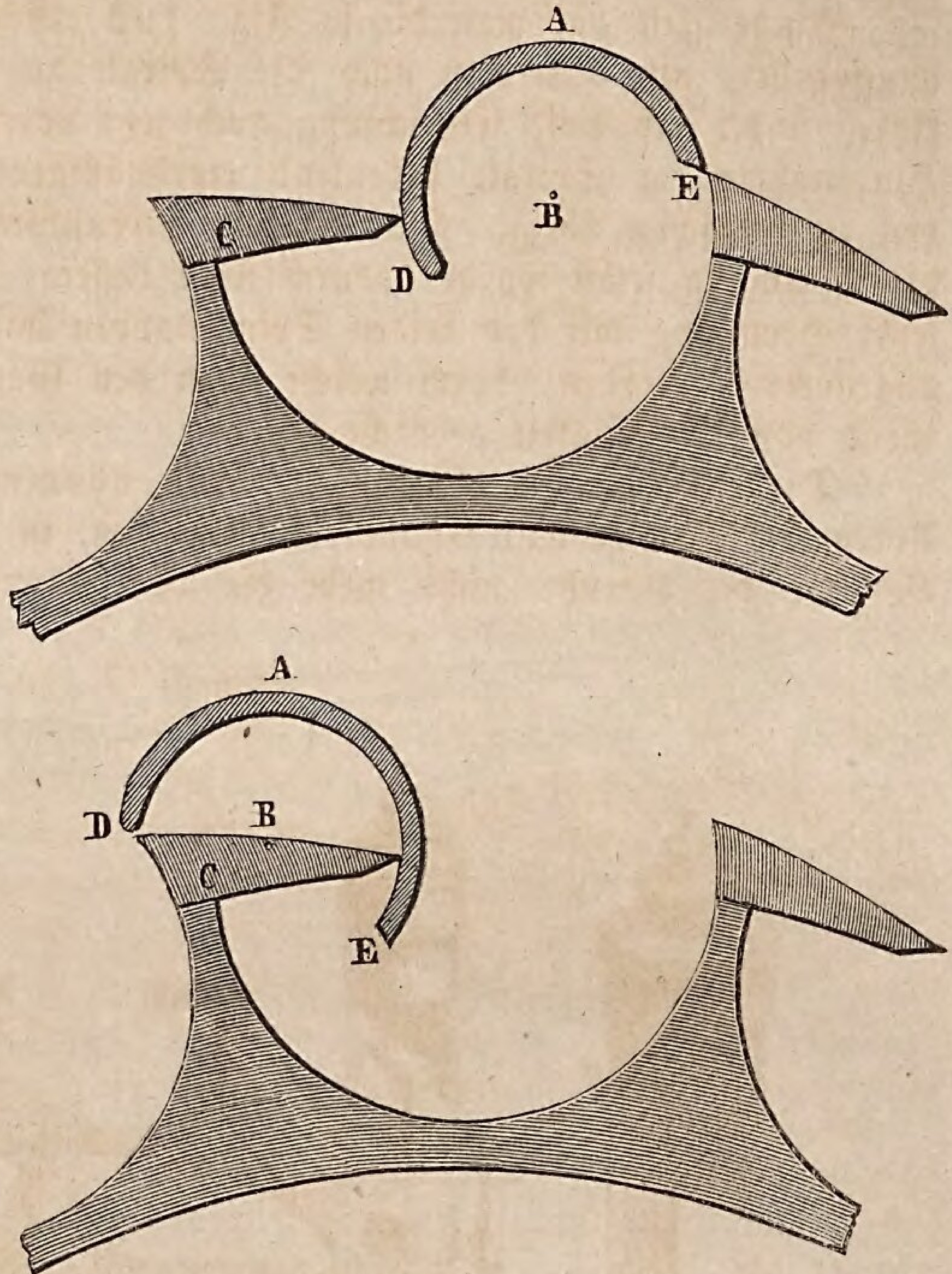
Fig. 197.



mittlern Partie hohl und eigenthümlich ausgeschnitten, wie es die vorstehende Figur bei a b c sehen läßt. Die halbrunde Partie, welche gleich über dem Ausschnitt c liegt, ist hier der Theil, auf welchen das Meiste ankommt. Das Hemmrad liegt bei der Cylinderhemmung, bei stehender Axe, horizontal, und

trägt eigenthümlich geformte Zähne, welche sich über die Radebene erheben und bei der Drehung des Rades in den hohlen Theil des Cylinders eintreten. Die folgenden beiden Figuren zeigen, wie der Cylinder die Zähne des Hemmrades abwechselnd anhält und wieder ausläßt. In Folge der Schwingungen dreht sich der Cylinder um das Centrum B bald nach der einen, bald nach der andern Seite. Ein Zahn (s. C in Fig. 198) stößt zunächst mit seiner Spitze an die Außenseite des Cylinders, bald aber nimmt letzterer die andere Lage ein, und das Rad thut einen Schritt weiter, bis es an die Innenseite des Cylinders stößt; die nächste Drehung des Cylinders läßt nun diesen Zahn ganz aus, während sich der folgende nun wieder an die Außenseite D stößt u. s. w.

Fig. 198.



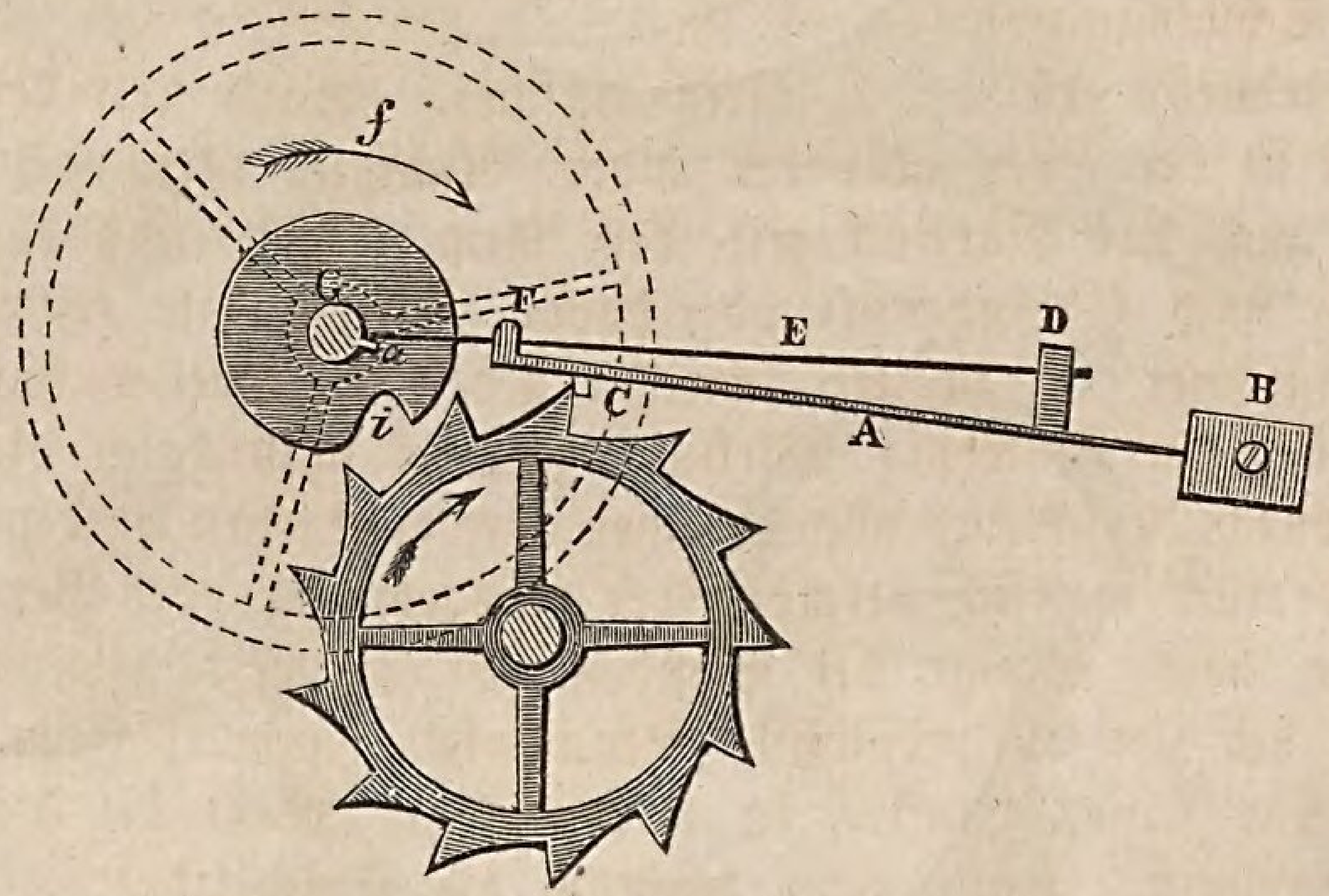
Bei dieser Hemmung muß die Unruhe ebenfalls von der Triebkraft immer neue Impulse erhalten, da der Balancier eben so wenig wie das Pendel fortschwingen kann. Dieser Antrieb erfolgt nun aber nicht beim Anstoßen einer Zahnspitze auf die äußere oder innere Cylinderfläche, denn der Kreis, in welchem sich die Spitzen bewegen, geht durch B, das Centrum des Cylinders, daher diese Anstöße nach keiner Seite hin eine drehende Wirkung haben können; eine solche tritt aber ein, wenn die Zähne an den Kanten des Halbcylinders, D und E, vorbeigehen, und zwar vermöge der abgeschrägten und etwas convexen Form, welche man den Außenseiten der Zähne gegeben hat. Hat sich nämlich der Cylinder so weit gedreht, daß die Spitze des Zahnes C an der Kante D vorbei kann, so übt die äußere Fläche desselben auf die Kante einen Druck nach derselben Richtung aus, in welcher sich der Cylinder dreht und die Schwingung erhält somit einen neuen Antrieb; ganz dasselbe erfolgt auf der andern Seite, wenn der Zahnrücken die Kante E streift, wobei natürlich die Schwingung und der Antrieb die entgegengesetzte Richtung haben.

Die Cylinderhemmung ist für die Unruhe das, was die Ankerhemmung

für das Pendel. Bei beiden steht das Hemmrad völlig still, so lange ein Zahn desselben von dem Anker oder Cylinder gehalten wird; bei beiden steht der Regulator fortwährend unter dem Einflusse der Triebkraft, ein Einfluß, der, wenn auch gering, doch vorhanden ist, denn die Zähne reiben sich an der Hemmung und theilen ihr Bewegung mit, wenn sie wieder ausgelassen werden. Die Cylinderhemmung ist für Uhren zum gewöhnlichen Bedarf sehr gut; für Seeuhren oder sog. Chronometer jedoch, die monatelang ohne merkliche Abweichung gehen sollen, hat man eine andere Hemmung ersonnen, bei welcher der fortwährende Einfluß der Triebkraft fast ganz beseitigt ist, und die deshalb freie Hemmung heißt. Ihre Einrichtung ist folgende.

Eine Feder A, die von einem Ende zum andern gleichmäßig an Dicke abnimmt, ist mit ihrem dünnen Ende an dem Träger B befestigt. Sie hat nach unten einen Ansatz C, gegen welchen die Zähne des Hemmrades der Reihe nach anstoßen. Auf der Feder liegt ein messingnes Klötzchen D, in welchem eine zweite sehr biegsame Feder steckt. Diese geht am andern Ende unter einem hakenförmigen Ansatze durch, welcher am freien Ende der ersten Feder sitzt, so daß die Feder E nach unten freies Spiel hat, nach oben gehoben aber den Haken und die untere Feder mitnehmen muß. An der Axe G der Unruhe sitzt ein kleiner Daumen a, welcher bei jeder Schwingung das Ende der Feder E berührt. Geht der Daumen nach unten, so drückt er die Feder E herab, während die Feder A und das Hemmrad in Ruhe bleiben; geht dagegen der Daumen wieder zurück, so hebt er die Feder E und durch diese vermöge des Hakens auch die Feder A; hierdurch wird das Hemmrad frei und der Zahn, der eben an C anstand, rückt fort; der folgende Zahn wird indeß bereits wieder angehalten, denn die Feder A ist sofort nach dem Ausheben wieder frei geworden und in ihre erste Stelle zurückgekehrt. Während bei C ein Zahn durchgelassen wird, stößt einer der folgenden Zähne an die vortretende Kante eines Einschnittes in einer auf der Axe der Unruhe sitzenden kleinen Scheibe, und durch diese bei jeder zweiten Schwingung eintretende momentane Berührung werden die Schwingungen des Regulators unterhalten.

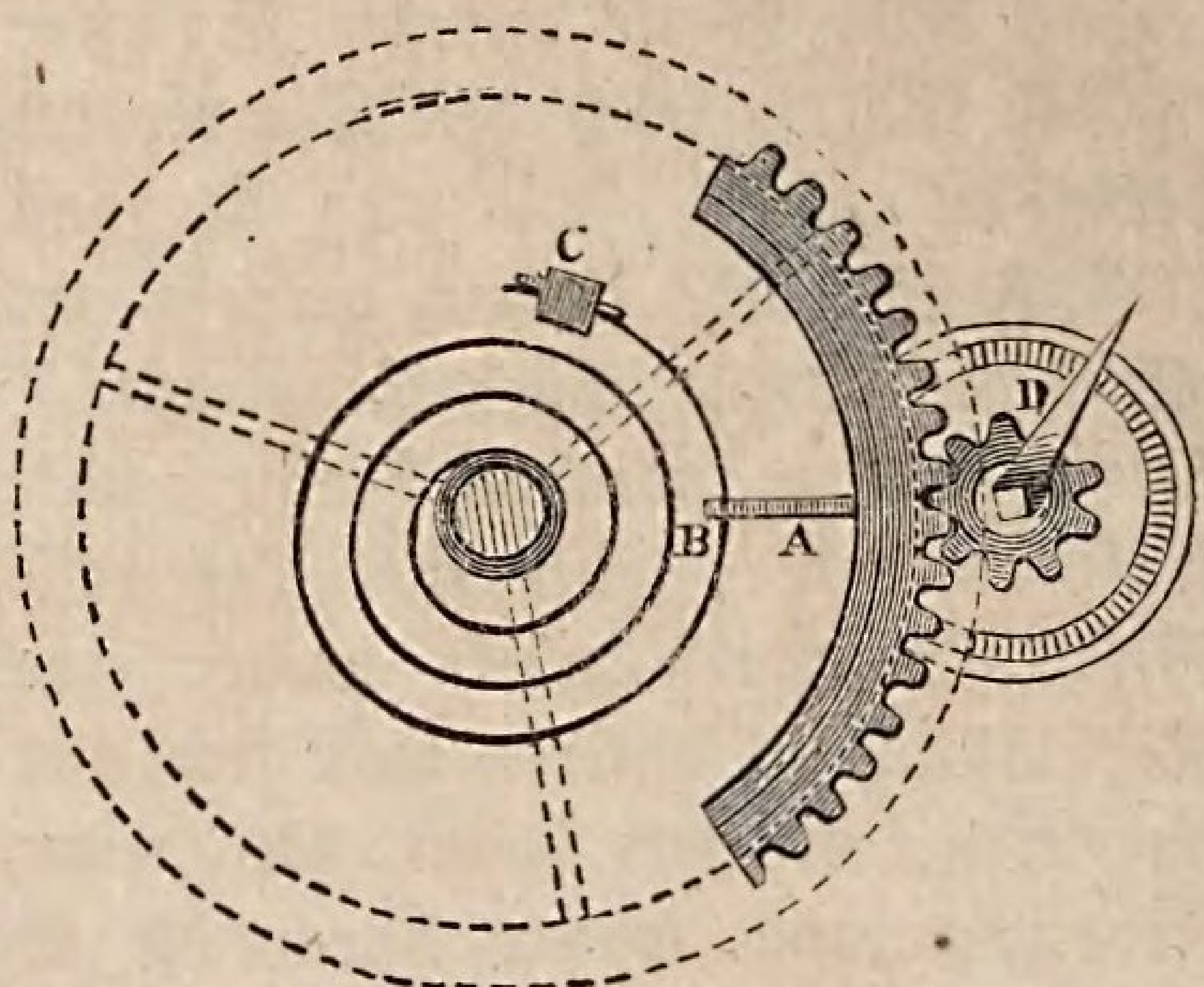
Fig. 199.



Bei Gewichtuhren mußte man, um ihren Gang zu regeln, die Linse des Pendels höher oder tiefer schrauben, also das Pendel verlängern oder verkürzen. Eine solche Formveränderung des schwingenden Körpers selbst läßt sich bei Federuhren nicht vornehmen; der Balancier bleibt hier wie er ist; dagegen läßt

sich durch Verlängerung oder Verkürzung der Spiralfeder der Gang der Uhr verzögern oder beschleunigen. Eine längere Feder giebt bei gleichen Stärkeverhältnissen einer Verbiegung williger nach als eine kürzere und kehrt weniger rasch in ihre erste Form zurück; bei einer Verlängerung der Spirale müssen daher die Schwingungen der Unruhe träger, langsamer, bei einer Verkürzung rascher vor sich gehen. Diese Stellung an der Spirale geschieht durch die in Fig. 200 ersichtliche Einrichtung, die Sperre. Von einem unvollständigen Zahnrade tritt die Stütze A nach innen, sie hat bei B einen schmalen Einschnitt, in welchem die Spirale liegt. Das Stück von B bis C, dem Befestigungspunkte der Spirale, ist hierdurch isolirt und nimmt an den Schwingungen keinen Theil; diese nehmen vielmehr erst bei B ihren Anfang. Wird nun der Zeiger auf der Stellscheibe D in der einen oder der andern Richtung verschoben, so wird durch das Getriebe auch das Radstück mit dem Arm gedreht und der Anhängepunkt B dadurch mehr nach C hingerückt oder davon entfernt; im ersten Falle wird dann die Uhr langsamer, im zweiten schneller gehen. Zuweilen hat die Stellscheibe in ihrem Spielraum zu wenig Wirkung, und es muß dann die Spirale bei C gelöst und hier durch Verschieben abgenommen oder zugegeben werden.

Fig. 200.

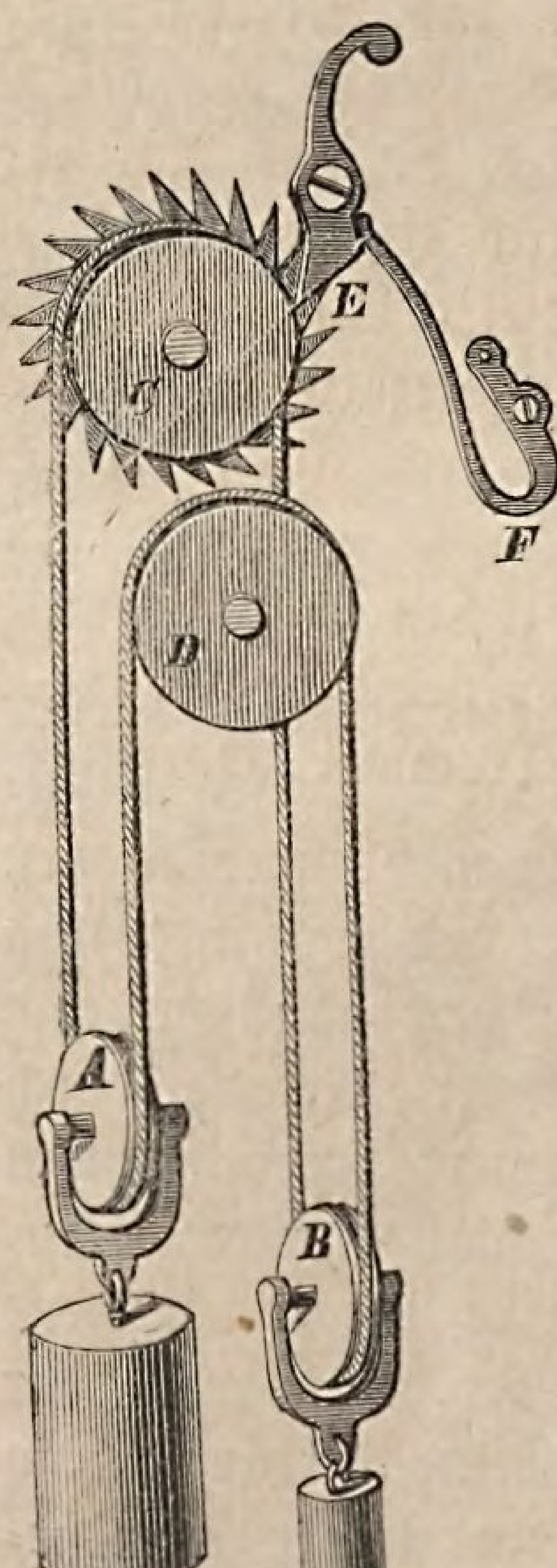


Der Wechsel der Temperatur, der sich vermöge der Ausdehnung oder Verkürzung des Regulators schon beim Gange der Pendeluhren so weit geltend macht, daß man da, wo es sich um die möglichste Genauigkeit handelt, Compensationen anwenden muß, übt seinen Einfluß in noch höherm Maße bei der feinern Maschinerie der Taschenuhren. Kälte zieht demnach die Spiralfeder und die Unruhe zusammen, vermehrt die Spannung und macht die Uhr schneller laufen, während vermehrte Wärme das Gegentheil hervorbringt. Diesen Uebelständen möglichst zu begegnen bringt man auch in Federuhren Compensationen verschiedener Formen an. Das Princip der Compensation, das wir in Bezug auf das Pendel schon S. 23 berührten, ist für Taschenuhren das nämliche, und beruht auf der verschiedenen Ausdehnungsfähigkeit verschiedener Metalle durch Wärme. Stahl dehnt sich in der Wärme mehr aus als Kupfer; vereinigt man mithin ein Kupfer- und ein Stahlstängelchen in ihrer ganzen Länge miteinander, so daß sie in einer mittlern Temperatur gerade sind, so wird der verbundene Körper sich in größerer Wärme nach der Kupferseite, in der Kälte nach der Stahlseite hin krümmen. Waren die beiden Stücke schon vorher gekrümmt, so wird der vereinigte Bogen unter denselben Einflüssen entweder flacher oder gekrümmter werden. Die ersten Compensationen waren nun so beschaffen, daß zwei solcher kleiner Bogen am Rande des Schwungrades angesetzt waren, die an ihren freien Enden ein goldenes Kügelchen aufgeschraubt trugen. Die Kälte streckte diese kleinen Bogen mehr gerade, und die Schwungkügelchen kamen

dadurch in einen größern Abstand vom Centrum; durch Wärme wurden sie wieder näher gebracht und so der Schwingungsdauer der Unruhe mehr Gleichförmigkeit gegeben. In der Folge hat man die Sache dahin abgeändert, daß man einen größern Compensationsbogen mit dem einen Ende auf der Uhrplatte selbst oder auch an einem verstellbaren Stück festlegt und sein freies Ende in irgend einer Weise auf die Stütze der Spiralfeder (B Fig. 200) wirken läßt, so daß sich je nach den Temperatureinflüssen von selbst verschiedene Stellungen derselben ergeben, wie man sie sonst durch Rückung an der Stellscheibe erreicht.

Feststehende Uhren versieht man immer mit einem Pendel, als dem auf alle Fälle vorzüglichsten Regulator. Dagegen ist bei Stutzuhren kein Spielraum für Gewichte, weshalb man, unter Beibehaltung des Pendels, die Federkraft anwendet, aber eben des bessern Regulators halber die Schnecke wegläßt. Bei Taschenuhren wirkt immer eine Feder als Triebkraft und eine Unruhe als Regulator; sie unterscheiden sich nur durch die Hemmung. In den ältern Uhren hat man, wie wir sahen, die Hemmung mit Rücklauf, und die Ungleichheit der Federspannung mußte durch die Schnecke ausgeglichen werden. Bei der viel bessern Cylinderhemmung konnte man die Schnecke entbehren, zumal da man auch einen gleichmäßigeren Federzug herstellte, indem man bei Cylinderuhren das Federhaus größer macht und nur die mittlere Spannung der Feder benutzt, d. h. sie weder aufs äußerste anspannt noch sich gänzlich abwickeln läßt. Durch den Wegfall der Spindel und des Steigrades wurde die flache Bauart der Cylinderuhren möglich, eine Verflachung, die freilich auch auf Kosten der Solidität des Werkes nicht selten zu weit getrieben wird. Bei Uhren, denen man die äußerste Genauigkeit geben will, wendet man die freie Hemmung an und behält die Schnecke bei, um so viel als möglich jeden Anlaß zu Veränderungen der Schwingungsdauer fern zu halten.

Fig. 201.



Zieht man eine Uhr auf, so läuft zwar, wie wir sahen, das Werk nicht rückwärts, aber es bleibt bis zur Beendigung des Aufziehens stehen, und die Uhr geht nun, wenn sie vorher richtig zeigte, um diese Zeitdauer zu spät. In einzelnen Fällen, besonders bei astronomischen Uhren, sind schon solche kleine Differenzen von Uebel, und man hat daher verschiedene Einrichtungen, die ermöglichen, daß die Uhr auch während des Aufziehens ihren Gang fortsetzt. Die hier dargestellte ist eine der einfachsten und gebräuchlichsten.

Zwei lose Rollen A und B werden von einer endlosen Schnur getragen, welche über die festen Rollen C und D geht. Die Auskehlungen dieser Rollen sind so beschaffen, daß die Schnur nicht auf denselben gleitet. An den losen Rollen hängen die beiden Gewichte P und p. Das größere ist das Triebgewicht, welches beide Rollen umzudrehen strebt, während das kleinere nur dazu

dient, die Schnur auch auf der andern Seite gespannt zu erhalten und die richtige Auflage derselben auf den Rollen dadurch herzustellen. Das Treibgewicht zieht nun mit der Hälfte seiner Schwere an der Rolle C, mit der andern an D. Die erstere ist aber in dieser Richtung nicht drehbar, da sie ein Sperrrad hat, gegen welches die Feder F den Sperrkegel E drückt; sie kommt überhaupt nur beim Aufziehen ins Spiel. Die Rolle D dagegen folgt dem Zuge und ihre Welle überträgt, da sie mit dem ersten Zahnrade des Werkes in Verbindung ist, die Bewegung auf die Uhr. Ist das große Gewicht an der tiefsten, das kleine an der höchsten Stelle angekommen, so erfolgt das Wiederaufziehen des Werkes einfach dadurch, daß man an dem Theile der Schnur niederwärts zieht, welcher zwischen den Rollen C und B liegt. Hierdurch kommt die Rolle C in Gang und nachdem über dieselbe so viel Schnur wieder herübergezogen ist, als über D allmälig hinübergelaufen war, steht natürlich das große Gewicht wieder zu oberst und das kleine zu unterst. Das Aufziehen ist geschehen, ohne daß der Gang der Uhr irgend eine Störung erlitten hätte; denn das Treibgewicht hat währenddem keinen Augenblick aufgehört, mit der Hälfte seiner Schwere an der Rolle D zu ziehen und auch das gegenüberliegende Schnurstück behielt während des Aufziehens immer den gleichen Spannungsgrad.

Dieselbe Aufgabe, das Werk während des Aufziehens fortgehen zu lassen, wird bei Uhren, die keine Schnecke haben und bei denen das Federhaus das erste Rad des Räderwerks dreht, einfach gelöst, wenn man die Feder, wie bei der zuerst abgebildeten alten Uhr, von innen heraus spannt, d. h. das Aufziehen durch Umdrehung des Federstiftes bewirkt, welcher dann durch ein Sperrrad am Zurückgehen verhindert wird. Es ist ersichtlich, daß bei dieser Einrichtung das äußere Ende der Feder auch beim Drehen des Stiftes ununterbrochen an dem Federhause in derselben Richtung fortziehen wird, also in dem Fortgange der Uhr keine Störung eintreten kann.

Bei einer gewöhnlichen Spindeluhr bleibt beim Aufziehen das Bodenrad und das Werk stehen, während die Schnecke durch den Aufziehstift allein rückwärts gedreht gedreht und dadurch die Kette von der Trommel abgewunden wird. Fig. 202 giebt eine Ansicht der Schnecke und des Bodenrades, erstere etwas gehoben, um die Disposition des Sperrrades auf dem einen und des Sperrkegels auf dem andern Stücke zu zeigen, vermöge welcher das Bodenrad beim Aufwickeln der Feder liegen bleibt, beim Abwickeln aber mitgenommen wird. Indeß läßt sich auch hier die Einrichtung treffen, daß der Gang der Uhr beim Aufziehen keine Störung erleidet. Dies wird erreicht, wenn man statt des einen Sperrrades solcher zwei anwendet, deren Zähne in entgegengesetzter Richtung stehen. Das kleinere Sperrrad A (Fig. 203) sitzt auf der Welle der Schnecke fest. Geht die Uhr, so dreht sich die Spindel und das Sperrrad A im Sinne des Pfeiles f, wobei das zweite Sperrrad B wegen des eingreifenden Sperrhakens m in demselben Sinne mit herumgenommen wird. Die Zähne von B gehen dabei ungehindert unter dem außerhalb festsitzenden Sperrhaken n durch. Die Verbindung des Bodenrades C mit der Axe der Schnecke findet

nun erst von dem vermittelnden Rade B aus statt und besteht in einer innenliegenden Feder a b c, welche bei a an das Rad B, bei c an das Bodenrad befestigt ist. Durch diese Feder wird nun auch das Bodenrad mit herumgezo-

Fig. 202.

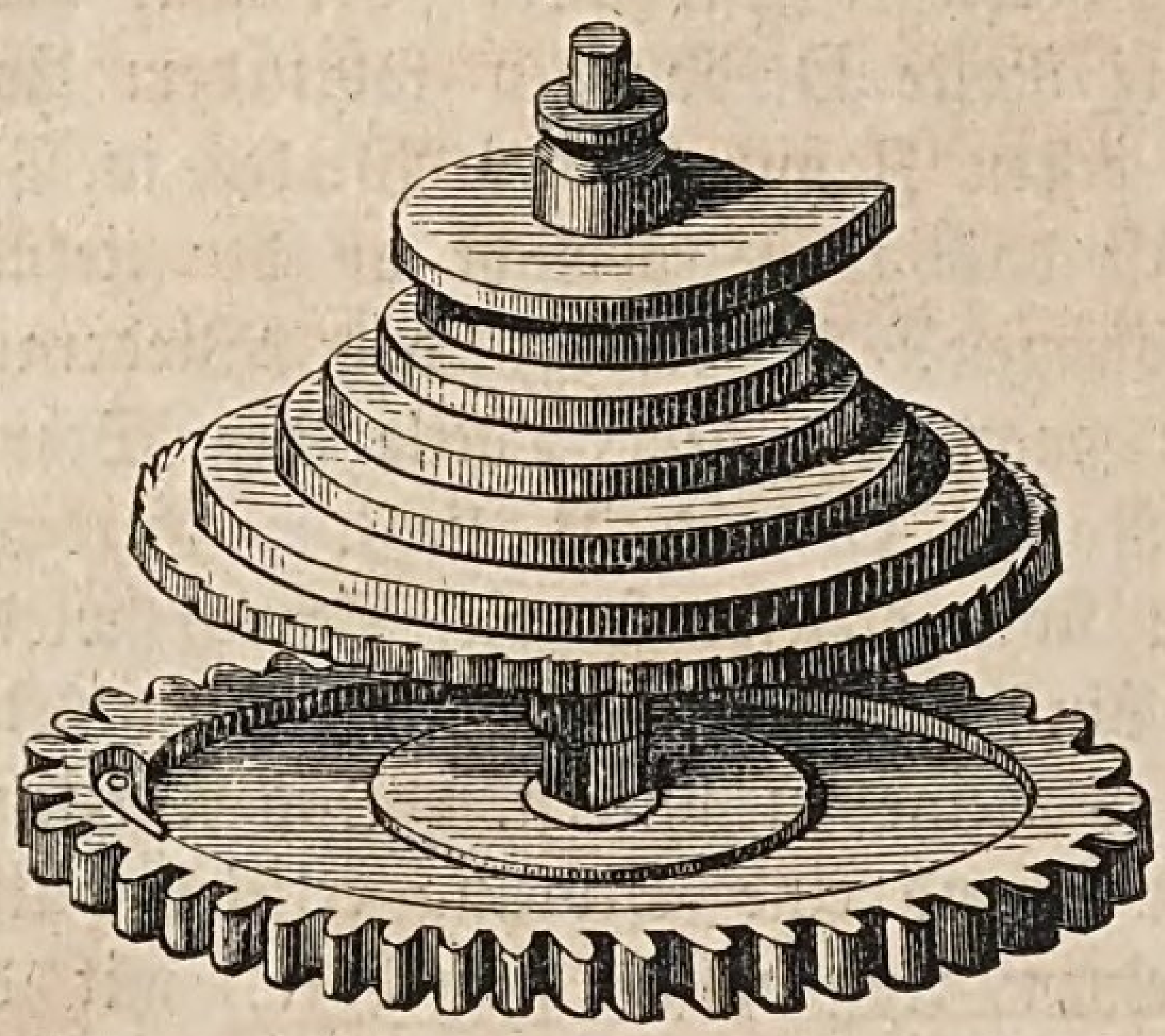


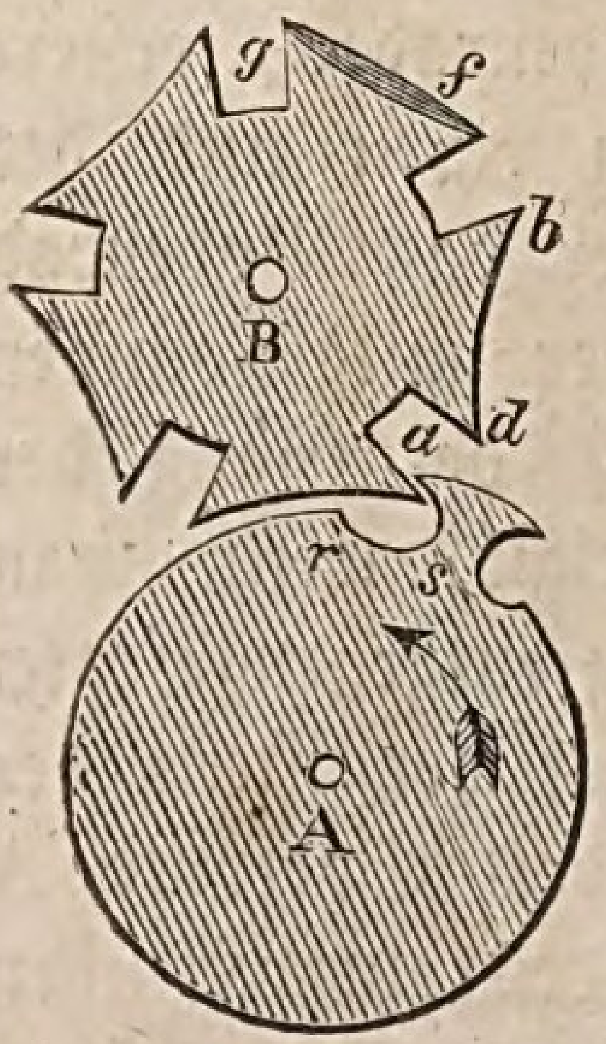
Fig. 203.



gen und alle drei Stücke drehen sich also wie ein Ganzes. Wird nun aber die Uhr aufgezogen, so drehen sich Schnecke und Rad A in der Richtung des Pfeiles c, und zwar allein, ohne das Rad B, weil dieses durch den Sperrhaken n aufgehalten wird. Nun besteht aber noch die Spannung der Feder a b c, welche diese durch den Zug zwischen a und c erhalten hat, und sie fährt daher noch eine Weile fort, den Punkt c nach dem Punkte a heranzuziehen, also drehend auf das Rad C zu wirken. Die Dauer dieser Wirkung ist lang genug, daß währenddem die Uhr aufgezogen werden kann, ohne daß das Werk ins Stocken kommt. Beim Fortgange der Uhr erhält sodann die Feder ihre erste Spannung wieder.

Um beim Aufziehen einer Federuhr zu verhüten, daß der Uhrschlüssel öfter als nöthig gedreht werde, wodurch die Kette oder die Feder gesprengt werden könnte, muß ein Aufhalter da sein, d. h. irgend eine Vorrichtung, bei welcher der weitern Drehung des Aufziehstiftes sich ein Hinderniß in den Weg stellt, sobald das Aufziehen vollendet ist. Diese Hemmungen können verschiedene Einrichtungen haben; eine solche, die in Cylinderuhren Anwendung findet, ist in Fig. 205 abgebildet. Das Rad oder die Scheibe A sitzt am Aufziehstifte fest und trägt einen einzelnen Zahn oder Greifer, welcher bei jedem Umgange einen der Flügel oder Lappen des daneben stehenden eigenthümlich ausgeschnittenen Rades B mitnimmt. So lange der glatte Rand von A einem Lappen von B gegenübersteht, ist keine Berührung zwischen beiden Stücken vorhanden; A dreht sich frei, aber B kann, weil es immer einen Theil der Peripherie von A umfaßt, nach keiner Seite hin sich drehen. Erst wenn der Greifer eintritt, kann das Rad A mit fortgehen, weil nun die hintere Spitze des Flügels in dem runden Ausschnitte bei s Spielraum findet. So können vier Lappen durchpassiren, also der Feder-

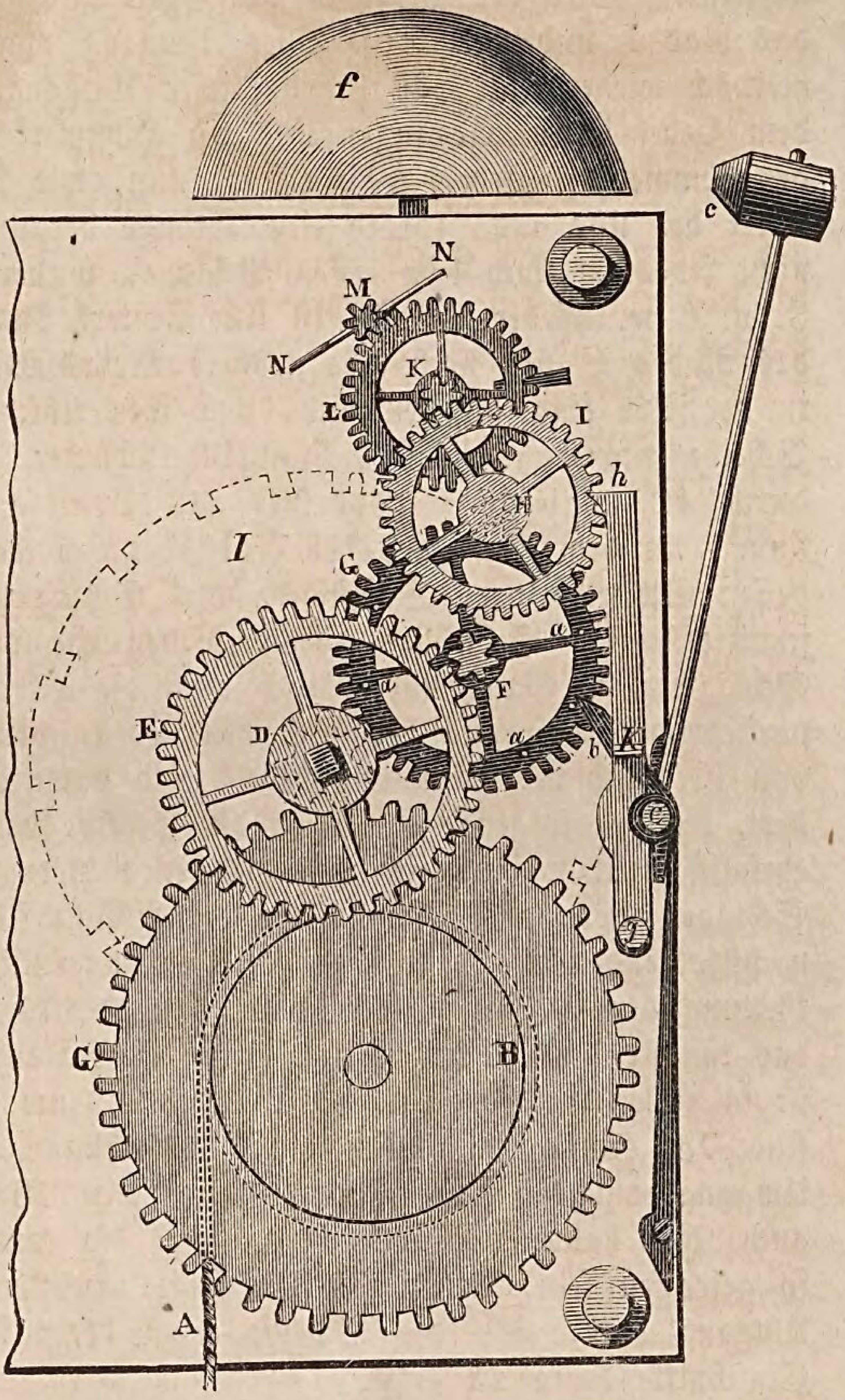
Fig. 204.



stift viermal gedreht werden. Dreht man weiter, so tritt der fünfte Lappen ein, der aber eine andere Form hat, indem er, statt vertieft ausgeschnitten zu sein, einen erhabenen Rücken hat. Hierdurch entsteht denn bei dem nahen Zusammenliegen beider Stücke eine Klemmung, welche Stillstand gebietet. Während das Werk abläuft, wird sodann der Aufhalter in umgekehrter Richtung wieder mitgenommen und allmälig in seine erste Position zurückgebracht.

Wir wollen nun auch das Schlagwerk, wenigstens wie es an Gewichtuhren eingerichtet ist, vorführen. Dieser Mechanismus bildet eine besondere Abtheilung des Uhrwerks, die ihren eigenen Motor, ebenfalls ein Gewicht hat, und von dem Gehwerke aus zu bestimmten Zeiten in Gang gesetzt wird. Vermöge der Schnur A zieht das Gewicht an dem Cylinder B, der mit dem Stirnrad C in gleicher Weise wie beim Gehwerk durch ein Gesperre verbunden ist. Von dem Treibrad C geht die Bewegung auf das Getriebe D des Rades E über und setzt sich mit immer wachsender Geschwindigkeit von Rad zu Getriebe in der der Reihenfolge E. F, G, H, I, K, L, M fort; die letzte Welle M hat statt eines Rades zwei Windflügel, die als Regulator der Bewegung dienen. Während das ganze Räderwerk sich dreht, kommen Stifte a a, die seitwärts an dem Kranze des Rades G stehen, der Reihe nach mit dem Hebel b in Berührung, heben ihn etwas und lassen ihn wieder aus. C ist die Drehungsaxe des Hebels b und auf ihr sitzt zugleich der elastische Stiel des Hammers e. In seiner Ruhelage berührt der Hammer die Glocke nicht; wird der Hebel durch einen Stift gehoben, so tritt der Hammer noch weiter von der Glocke zurück; gleitet dann der Hebel ab, so drückt ihn eine Feder rasch in seine erste Lage zurück, der Hammer bekommt dadurch einen Schneller, der ihn,

Fig. 205.



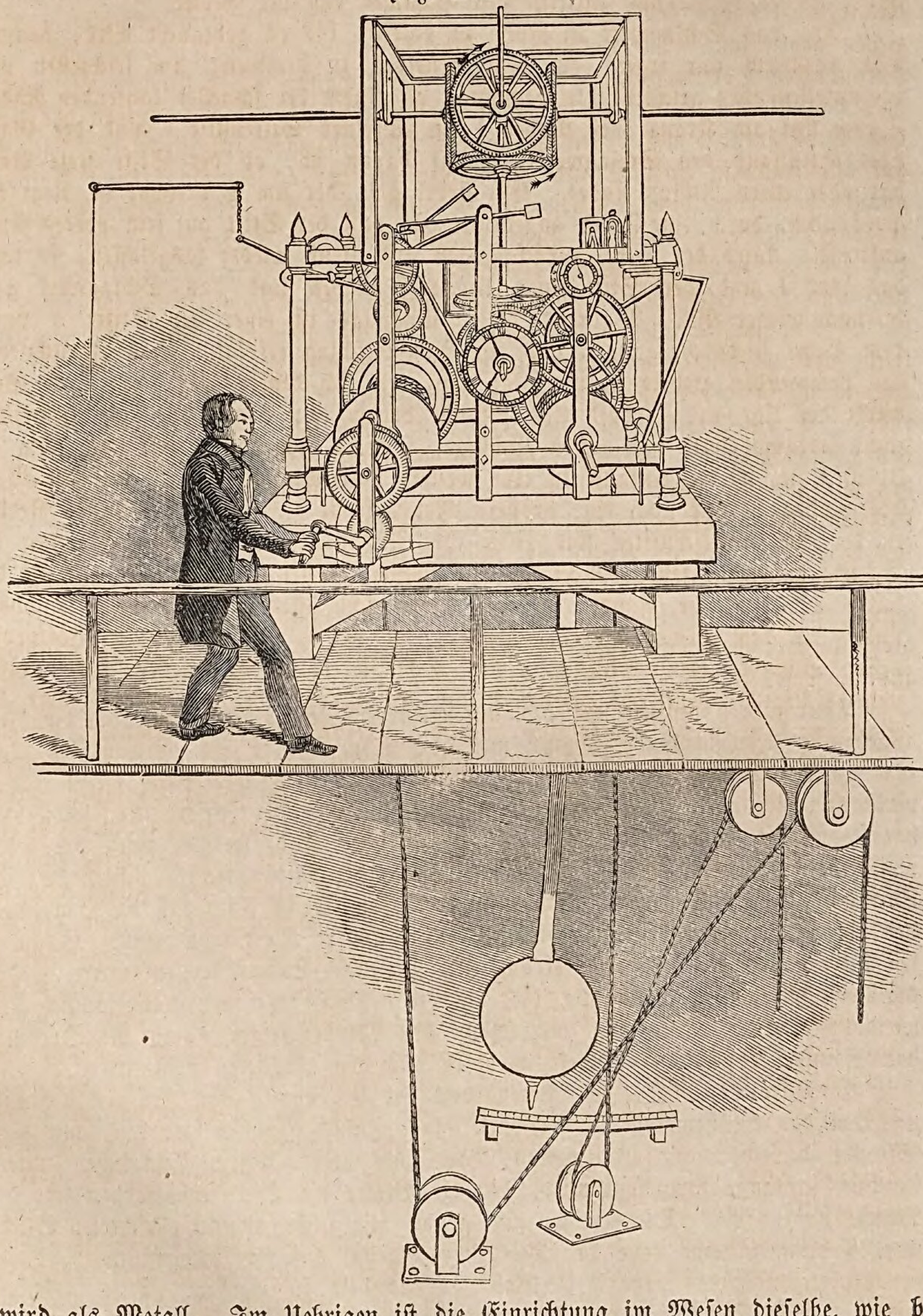
weil sein Stiel biegsam und elastisch ist, über seine Ruhelage so weit hinausführt, daß er an die Glocke schlägt. Nach dem Schlage biegt sich der Stiel sofort wieder zurück und entfernt den Hammer von der Glocke.

Um das Schlagwerk in Ruhe zu halten, bis es gebraucht wird, braucht man natürlich nur irgend ein Rad desselben zu hemmen; am leichtesten und promptesten aber geschieht die Hemmung an einem der schneller laufenden Räder. Daher sitzt am Kranze des Rades I ein einzelner Seitenstift i, und der Gang oder Stillstand des Schlagwerkes hängt davon ab, ob der Stift freie Bahn hat oder einen Anstoß findet. Ein Hebel g h, der um g drehbar ist, liegt für gewöhnlich, durch eine Feder angedrückt, so, daß der Stift auf sein oberes Ende auftrifft. Wird der Hebel zurückgezogen und gleich wieder losgelassen, so kann das Rad I und der Stift einen Umgang machen und das Schlagwerk steht hiernach wieder still. Während dieses Umgangs ist einer der Stifte a unter dem Hebel b durchgegangen und ein Hammerschlag erfolgt. Das Zurückziehen des hemmenden Hebels g h erfolgt nun, wie sich denken läßt, von dem Gehwerke der Uhr aus, sobald eine Stunde herum ist; damit aber die Hemmung nicht jedesmal nach dem ersten Schlage, sondern folgenweise erst nach dem 2., 3. u. s. w. wieder einfalle, ist eine weitere Vorrichtung nöthig. Auf der Welle des Rades E sitzt noch eine größere Metallscheibe l, auf deren Rande Kerben in der Art eingeschnitten sind, daß ihre Abstände nach der der Drehung der Scheibe entgegengesetzten Richtung hin immer größer werden. Sie erhält dadurch 12 ungleiche Randvorsprünge, deren schmalster und breitester Nachbarn sind. An dem Hemmungshebel befindet sich bei k ein keilförmiger Vorsprung, dessen Schneide beim Stillstande des Schlagwerks in einem der Scheibenausschnitte liegt. Hebt das Gehwerk den Hemmungshebel aus, so kommt das Schlagwerk in Gang und folglich auch die gekerbte Scheibe in Umlauf; der eben vorliegende Vorsprung des Scheibenrandes schiebt sich sofort unter die Schneide von K, und der Hemmungshebel wird dadurch so lange am Einfallen verhindert, bis der folgende Einschnitt der Scheibe herangekommen ist. Indem K hier einfällt, stellt sich zugleich das Hebelende h dem Stifte i in den Weg und das Schlagen hört auf. Je weiter der Abstand des einen Ausschnittes von dem nächstfolgenden ist, desto mehr erfolgen natürlich Hammerschläge, und die Eintheilung der Scheibe ist gerade so, daß das kürzeste Randstück nur einen Schlag, das längste deren 12 gestattet. Die Bewegung des Rades E und der Scheibe ist langsam; sie kommen in 12 Stunden nur einmal herum. Von 1 bis 12 sind 78 Schläge, folglich muß das Rad I, das bei jedem Schlage einen Umgang macht, sich während der Zeit 78mal drehen. Soll das Werk auch die halben Stunden angeben, so muß die Disposition der Räder so getroffen sein, daß I 90 Umgänge macht, während E seinen 12 stündigen Umgang hält, und die Scheibe erhält dann eine Eintheilung, die statt 12 Einschnitte deren 24 zeigt.

Schließlich wollen wir auch noch eine Thurmuhr zur Anschauung bringen. Sie hat rechts das Gehwerk, links das Schlagwerk, welches eben aufgezogen wird. Das schwere Pendel einer solchen hat gewöhnlich eine hölzerne Stange,

da diese in ihrer Länge durch Temperaturveränderungen weit weniger verändert

Fig. 206.



wird als Metall. Im Uebrigen ist die Einrichtung im Wesen dieselbe, wie bei

den kleinern Pendeluhren, das Räderwerk aber meist von Eisen. Das Verhältniß der einzelnen Räder zu einander hängt von der Schwingungsdauer ab, die das Pendel haben soll, sowie davon, wie lange die Uhr nach einmaligem Aufziehen gehen soll. Die Aufgabe der Uhr ist ein für allemal gegeben, aber nach den übrigen Bedingungen ändert sich die Berechnung ab. Nehmen wir wieder an, das Pendel mache genau einen Secundengang. Das Hauptrad der Uhr, das Stundenrad, auf dessen Welle der Minutenzeiger aufgesteckt ist, hat sich auf alle Fälle in einer Stunde einmal zu drehen; es empfängt seine Drehung unmittelbar von dem Walzenrade, d. h. dem ersten, den Schnurencylinder tragenden Rade. Zu einem Secundenrade gehört ein Steigrad mit 30 Zähnen, das sich in der Minute einmal dreht. Die Drehungsgeschwindigkeiten des Stunden- und des Steigrades verhalten sich mithin wie 1 zu 60, und hierdurch ist die Verbindung zwischen beiden gegeben. Giebt man dem Steigrade ein Getriebe von 6 Zähnen und läßt dieses in ein Mittelrad von 48 Zähnen eingreifen, so macht die Welle des letztern einen Umlauf auf 8 Umläufe des Steigrades. Durch Division mit der 8 in 60 finden wir ferner, daß die Umläufe des Mittel- und des Stundenrades sich wie $7^1/_2$ zu 1 verhalten müssen. Geben wir nun der Welle des erstern wieder ein Getriebe von 6 Zähnen, so muß das Stundenrad eine $7^1/_2$mal größere Zähnezahl, also 45 Zähne erhalten, und somit ist das richtige Verhältniß zwischen dem Stunden- und dem Steigrade hergestellt. Wenn das Stundenrad ein Getriebe von 6 Zähnen und das Walzenrad z. B. 48 Zähne hat, so vergehen 8 Stunden ehe die Walze einmal herumkommt; demnach reichen 3 Seilwindungen auf derselben für 24 Stunden aus u. s. w.

Thurmuhren müssen meistens auf mehreren Zifferblättern zugleich die Zeit angeben. Zu dem Ende kämmt mit dem Stundenrade ein horizontales Rad von gleicher Größe und gleichviel Zähnen und die senkrechte Welle dieses Rades verlängert sich nach oben bis gegen den Mittelpunkt der Zifferblätter hin; hier hat sie wieder ein dem untern Rade ganz gleiches Rad, welches zwei, drei oder vier stehende Räder umtreibt, auf deren Wellen die Minutenzeiger aufgesteckt sind. Da sämmtliche Räder gleiche Dimensionen haben, so ist klar, daß die Bewegung des eigentlichen Stundenrades hierdurch unverändert übertragen wird. Es wirken hierbei entweder liegende Kron- und stehende Stirnräder zusammen, oder die Verzahnungen sind konische, die, als die bessern, jetzt wohl hauptsächlich Anwendung finden. Wie von der Welle des Minutenzeigers auch die Drehung des Stundenzeigers mit bewirkt wird, ist aus dem Früheren bekannt.

Prägwerke. Die Maschinenarbeit bei Erzeugung von Münzen beginnt, nachdem das Münzmetall in Schienen, sog. Zaine gegossen worden, mit dem Strecken derselben auf Walzwerken, das, von mehrmaligem Ausglühen unterbrochen, so lange fortgesetzt wird, bis die Bleche die Dicke erhalten, welche die Münze haben soll. Die fertigen und genau abgeglichenen und gerichteten Bleche werden dann in eine neue Maschine gebracht, um daselbst „ausgestückelt", d. h. in Platten von der gehörigen Größe verwandelt zu werden. Dies geschieht mittelst eines Durchschlages, der entweder ein Hebelwerk, oder für größere

Münzen ein Fallwerk mit Druckschraube ist. Ein geschickter Arbeiter kann von den kleinen Scheiben zu Scheidemünzen in der Stunde 6 — 7000 Plättchen ausschlagen.

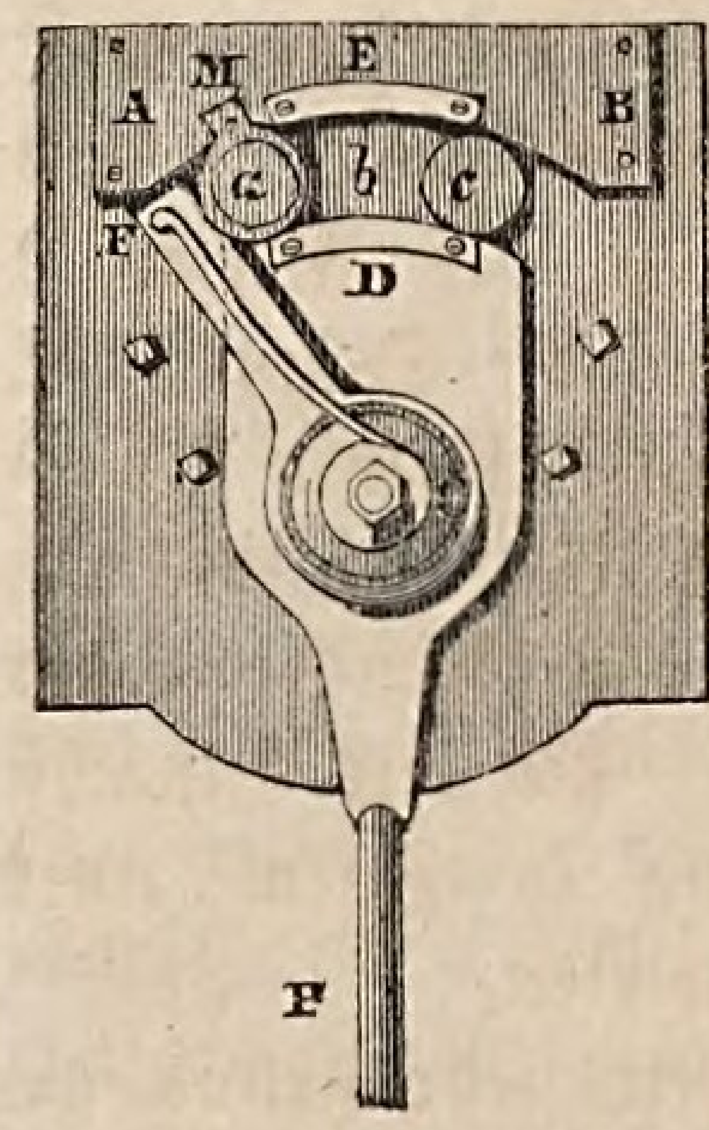
Nachdem die ausgeschlagenen Münzplatten vollkommen gereinigt und untersucht worden sind, werden sie justirt, d. h. ihrem Gewicht nach vollständig berichtigt. Dazu hat man eigene Wagen, die sog. Justirwagen, mittelst deren diese Operation sehr schnell von Statten geht. Nur große Münzen, Thaler, Gulden und Goldmünzen, werden einzeln justirt, das kleine Courant aber wird al marco justirt, d. h. es werden so viel Stücke, als eine Mark wiegen sollen, auf die Wage gezählt nnd zugleich gewogen. Haben diese das richtige Gewicht, so kümmert man sich um die einzelnen Stücke nicht. Zu schwere Marken werden mit zu leichten gemengt und dann abermals gewogen. Die Fortschritte, welche die Münztechnik in der neuern Zeit gemacht hat, erlaubt es indessen jetzt, daß auch das gröbere Courant, die Zwanzigkreuzer und die $^1/_3$ und $^1/_6$ Thaler einzeln justirt werden, indem man eigene Wagetische baut, die 10 — 20 Justirwagen zugleich tragen, deren beide Schalen, die eine mit dem Passirgewicht, auf der Tafel ruhen. Aus Trichtern fällt dann auf jede leere Schale eine Münzscheibe, und nun heben sich langsam alle Wagen gleichzeitig; die leichten Platten gehen aufwärts, die richtigen liegen in der Mitte und die zu schweren ziehen abwärts. Sind alle Wagen zur Ruhe gekommen, so erfolgt gegen alle gleichzeitig ein scharfer Schlag und die Münzscheiben fliegen vorwärts, die zu leichten in das zu oberst liegende, die richtigen in das mittlere und die zu schweren in das untere Fach vor jeder Wage. Dann senken sich die Wagen wieder, um neue Platten zu empfangen und so fort.

In größern Münzstätten hat man in neuerer Zeit noch sinnreichere, selbstthätige Justirmaschinen, welche natürlich immer auf dem Prinzip der Wage beruhen, und mit großer Sicherheit und Raschheit die zu leichten, die zu schweren und die richtigen Stücke von einander sondern. Die zu leichten Scheiben werden wieder eingeschmolzen, die zu schweren aber werden in einer besondern Maschine etwas abgehobelt und dann neu justirt, bis sie richtig oder zu leicht werden, im letztern Falle also wieder eingeschmolzen werden müssen. Die justirten Platten werden hierauf feingesotten, d. h. durch Sieden in angesäuertem Wasser von Oxyd und Schmuz gereinigt, wodurch sie $^3/_{16}$ bis 2 Prozent an Gewicht verlieren, und daher noch einmal justirt werden müssen.

Die gesottenen Münzplatten müssen nun gerändert, d. h. mit einer Verzierung auf der flachen Seite des Umfanges versehen werden. Bei Kupfer- und Scheidemünzen ist der Rand glatt, bei den Silber- und Goldmünzen aber besteht die Verzierung aus Kerben, Schuppen, Blättern oder Punkten. Zum Rändeln dient eine kleine Maschine, das Kräusel- oder Rändelwerk, welches sehr verschieden eingerichtet werden kann. Eines der besten ist das in der Münze in Paris gebräuchliche, mit welchem ein Arbeiter in einem Tage 20,000 Fünffrankstücke rändeln kann. Die beiden Rändeleisen E und D (Fig. 207) enthalten jedes die Hälfte von der Randverzierung erhaben auf ihrer gekrümmten Oberfläche. Sie bestehen aus glashartem Stahle und sind, jedes mit zwei

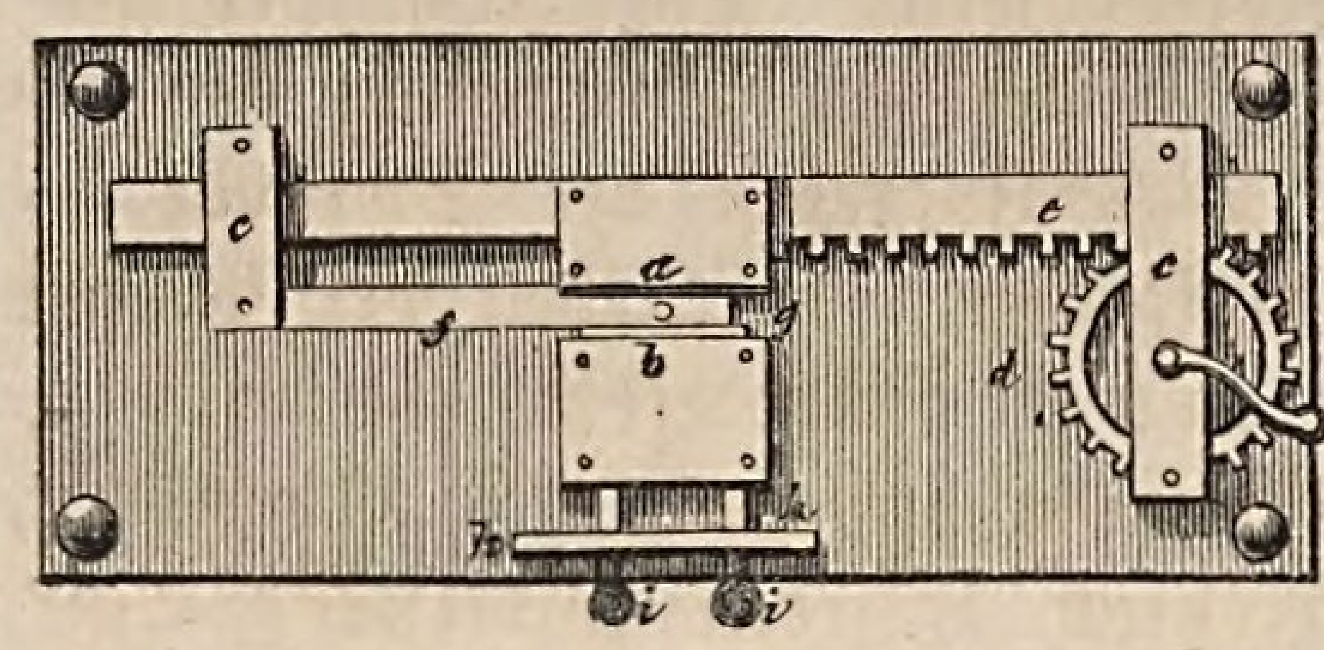
Schrauben, nämlich E auf das festliegende Stück A B und D auf das Ende des Hebels P D, der sich um die Axe C dreht, befestigt. Man ertheilt dem Stabe P mit der Hand eine hin und her gehende Bewegung. Die Krümmungen beider Rändeleisen sind Bogenstücke, deren Mittelpunkt C ist, und die Münzplatte geht nur sehr gedrängt zwischen beide hinein; a ist eine senkrechte Röhre, in welcher die Münzplatten aufgestapelt werden und die stets gefüllt gehalten wird. Unten ist diese Röhre um so viel offen, daß eine Platte freiliegt. Mittelst der Schraube M ist die Röhre A B befestigt. Der mit dem Stücke P D bewegliche Arm C F geht unter der Röhre durch und stößt die unterste Platte der Säule vor sich her, die von der Nuth zwischen den beiden Rändeln aufgenommen und von a nach b vorwärts geführt wird, bis sie, fertig gerändert, bei c ausfällt.

Fig. 207.



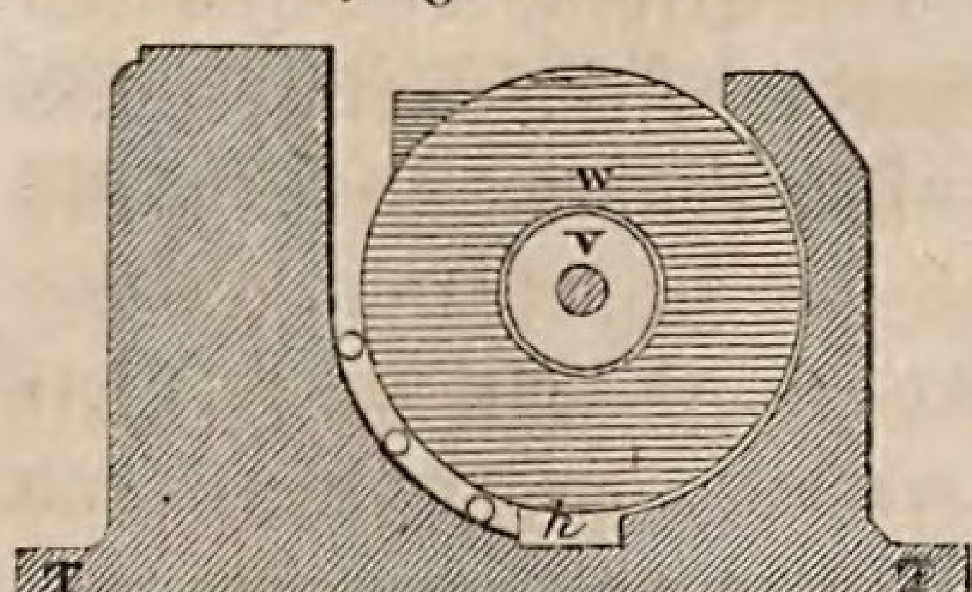
Ein anderes Rändelwerk ist das Fig. 208 abgebildete. a und b sind die beiden Rändeleisen, welche enge Falzen haben und auf deren schmaler Kante das Randmuster eingegraben ist. Das Rändeleisen a wird durch die Zahnstange e mittelst der Kurbel auf c, und des Getriebes d hin und her bewegt; bei f wird die Platte eingelegt, sofort von dem Rändeleisen ergriffen, gerändert, und bei g wieder ausgeworfen. Durch die Stellschrauben i i, welche durch den Steg h gehen, wird das Rändeleisen b gehörig angenähert und festgestellt.

Fig. 208.



Damit alle Platten zum Rändeln genau in gleicher Größe hergestellt werden, pflegt man sie vor dem Rändeln zu stauchen, wodurch der Rand etwas breiter und vollkommen cylindrisch wird. Fig. 209 zeigt die dazu gehörige Maschine. T T ist ein massives gußeisernes Gestell, in welchem sich, um v, eine Scheibe w bewegt; zwischen beiden bleibt ein Zwischenraum, der, nach der Größe der Münzplatte, verschieden und genau so groß im Durchmesser ist, als der Prägring des Fallwerkes. Die Platten werden oben eingeschossen, durch die sich drehende Scheibe glatt gepreßt und fallen bei h wieder aus der Maschine.

Fig. 209.



Die neuern Münzen zeigen bekanntlich statt einer Randverzierung meistens einen glatten, gestauchten Rand, auf welchem einige Worte in vertiefter, seltener erhabener Schrift eingeprägt sind. Diese Schrift wird nicht durch eine besondere Arbeit erzeugt, sondern gleich bei der eigentlichen Prägung mit eingedrückt. Es geschieht dies durch sog. Springringe. Ein ganzer Ring, auf dessen innerer Seite die Schrift gravirt wäre, würde dieselbe, wenn die Münzplatte hineingepreßt würde, dem Rande derselben wohl mittheilen, aber Ring und Münze wären

nun eben durch die erzeugte Prägung fest zusammengehalten. Die stählerne Ringscheibe, welche um den Kopf des untern Prägstempels liegt, besteht daher aus drei Stücken, deren innere Lappen sich etwas emporrichten und daher etwas auseinanderklaffen. Dieses Heben wird entweder durch untergelegte Federn bewirkt oder die elastischen Ringstücke sind in sich selbst entsprechend aufgebogen. Geht der Münzstempel nieder, so drückt er zugleich den Springring zusammen, der nun in allen seinen Theilen mit der Münze in gleicher Ebene liegt und seine Gravirung in ihren Rand abdrückt. Beim Zurückgange des Stempels springen die innern Ränder des Ringes wieder auf und lassen die Münze frei.

Das eigentliche Prägen wird mittelst zweier tief gravirter stählerner Stempel bewirkt, zwischen denen die Münzplatte einen so starken Druck empfängt, daß die Metallmasse die Vertiefungen des Stempels ausfüllt, die dann auf der Münze natürlich erhaben erscheinen. Bei den Prägepressen, die wir zunächst beschreiben wollen, erfolgt die dazu nöthige Krafteinwirkung in Form eines Stoßes, während neuere Vorrichtungen durch bloßen Druck wirken.

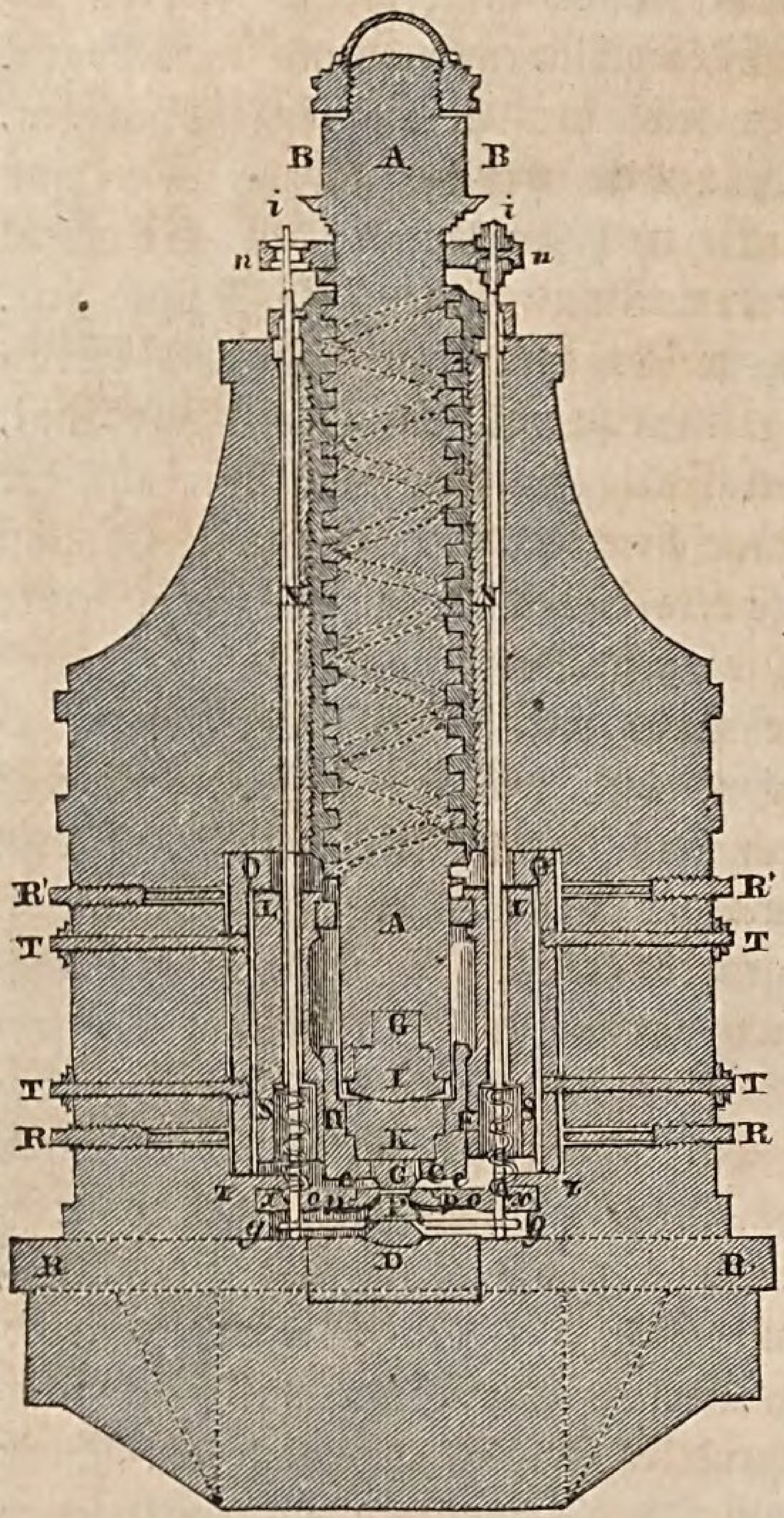
A A (Fig. 210) ist eine sehr starke Schraube mit flachen, sehr genau geschnittenen Gängen, und zwar eine dreigängige, die, wie wir wissen, eine sehr steile Steigerung, also eine rasche Fortbewegung in der Mutter hat. Auf dem eckigen Kopfe der Schraube sitzt ein zweiarmiger Schwengel oder Balancier, durch den sie von mehreren Menschen niedergedreht wird. Die Arme des Balanciers sind 5 bis 8 Fuß lang und an ihren Enden zur Verstärkung des Effectes mit mächtigen Schwungkugeln besetzt. Das Zudrehen der Schraube erfordert an sich noch weniger Kraft wie das Aufdrehen; die Arbeit der Präger besteht aber darin, dem belasteten Schwengel eine möglichst große Geschwindigkeit zu ertheilen, also Kraft zu sammeln, die sodann am Ende des Kreislaufs, wenn der niederwärts bewegte Münzstempel plötzlich auf den Widerstand trifft, vollständig auf diesen einen Punkt abgegeben wird. Die Schwungkugeln kommen dadurch natürlich plötzlich in Stillstand und es erfolgt demnach ein Stoß nach unten von derselben Intensität, als wenn die Schwungkugeln unmittelbar an einen festen Körper angestoßen wären.

Die Schraubenspindel bewegt sich in einer Mutter von Bronze N N, welche fast die ganze Länge der Schraube umfaßt und selbst wieder einen Cylinder bildet, der in den massiven Körper des aus Gußeisen bestehenden Prägestockes eingeschraubt ist. Bei dem Abwärtsgehen stößt die Spindel sehr heftig auf den stählernen Prägeklotz K, dessen Nutzen wir bald sehen werden. Der Widerstand der untern Theile dient nicht allein dazu, den Stoß zu schwächen, sondern es entsteht durch die Elasticität eine rückwirkende Kraft, welche das spätere Wiederaufsteigen der Schraube begünstigt.

Die Schraubenspindel ist aus Gußeisen, allein ihr Schuh Q I besteht aus gehärtetem Stahl und ist unten etwas gewölbt. Dieser Schuh hat oben einen cylindrischen Ansatz Q, mit dem er auf eine eigenthümliche Weise in die Spindel befestigt ist. Schrauben und jede andere Befestigung würden nämlich durch die unzähligen Stöße sich sehr schnell abnutzen; unverwüstlich ist aber folgende Art. Das Loch für den Ansatz wird in der Spindel etwas zu eng gebohrt

und die Spindel dann glühend gemacht, wodurch sie sich ausdehnt, das Loch sich also so viel erweitert, daß der Ansatz Q kalt eingeschoben werden kann. Beim Erkalten zieht sich nun die Spindel wieder zusammen und hält den Ansatz Q außerordentlich fest.

Fig. 210.



Der Prägeklotz K ist ein wenig ausgehöhlt, aber weniger als die Erhabenheit des Schuhes Q I beträgt, so daß also beide Flächen sich genau genommen nur in einem Punkte berühren; der Gebrauch aber vergrößert diese Berührungsflächen sehr bald. Die durch die Spindel vermittelte auf- und absteigende Bewegung theilt sich dem Oberstempel G mit; die beiden Grundflächen von G und K sind vollkommen horizontal. Der Unterstempel P liegt darunter, und die zu prägende Platte wird zwischen beiden in den Raum C gelegt, der durch das Steigen der Spindel vergrößert wird. Die stählernen gehärteten Stempel enthalten das Gepräge, das die Münze zeigen soll, verkehrt und vertieft, und die Ränder liegen genau senkrecht über einander. Die Stempel müssen sehr hart sein, da sie einen ungeheuren Druck auszuhalten haben. Um sie zu verfertigen, wird für jede Seite eine Matrize mit dem Gepräge erhaben aus weichem Stahl geschnitten und nachher gehärtet; nun setzt man die Matrize in die Prägeschraube und legt ein Stück weichen Stahl unter, in welchen dann durch eine mehrmals wiederholte Prägung die erhabene Gravirung der Matrize sich vollkommen genau und scharf vertieft abdrückt und den künftigen Prägstempel bildet, der dann gehärtet wird. Auf solche Weise kann man mittelst einer Matrize sehr viele einander genau gleiche Prägestempel erzeugen, wodurch einerseits der Falschmünzerei vorgebeugt wird, andererseits auch die durch Unglücksfälle zerspringenden Stempel leicht wieder ersetzt werden können. Der Unterstempel ist unten etwas gewölbt und ruht auf einer ebenfalls gewölbten Unterlage D, so daß er seine Stellung etwas verändern kann, im Falle der Druck nicht überall gleichmäßig, d. h. die Münzplatte nicht durchgängig genau gleich ist, was durch das Justiren herbeigeführt sein könnte.

Das Ganze steht fest auf dem Boden R R und dergestalt erhöht, daß der Balancier in der Brusthöhe der Arbeiter liegt.

Der Raum C zwischen dem Ober- und Unterstempel, in welchem die Münzplatte liegt, ist von einem stählernen Ringe e e umgeben, der genau den Durch-

messer der Münzplatte hat und durch vier Federn o p auf seinem Platz erhalten wird. Dieser Ring dient dazu, der Münzplatte, welche durch die Prägung etwas ausgedehnt wird, die kreisrunde Gestalt zu erhalten und alle Münzen genau gleich groß zu machen. Vor und bei dem Prägen steht der Rand dieses Ringes um die Dicke der Münzplatte höher als die gravirte Fläche des Unterstempels; wenn aber nach dem Stoße der Oberstempel wieder steigt, so hebt sich entweder der Unterstempel, oder der Ring senkt sich, so daß das geprägte Stück aus dem Ringe frei wird und zur Seite geschoben werden kann. Während dann der Oberstempel wieder zu fallen beginnt, tritt Alles in seine alte Lage zurück und es kann eine neue Münzplatte in den Ring gelegt werden.

Die unteren Theile K G des Fallwerks, welche den Oberstempel enthalten, sind, von der Prägeschraube ganz unabhängig, in eine Büchse H F eingeschlossen, welche mittelst der Ansätze L L in dem Falze O sich senkrecht auf- und abbewegen kann. Durch den Stoß der Prägeschraube wird diese Büchse mit dem Stempel abwärts getrieben, durch die Spiralfedern S S aber wieder emporgehoben, sobald die Schraube steigt. Die Schraube A nimmt aber beim Steigen natürlich den Ring n n mit in die Höhe und dieser die Stäbe i i, welche an ihrem untern Ende den Ring g g tragen, auf dem der Unterstempel P ruht, der also mit emportreten, sich durch den Prägring drängen und die geprägte Münzplatte auf demselben heben muß, da der Ring e e durch die Platte X X in Z Z gehalten wird. Die Schrauben R' R' und T T dienen dazu, die Büchse H F in Stellung und Gang genau zu reguliren.

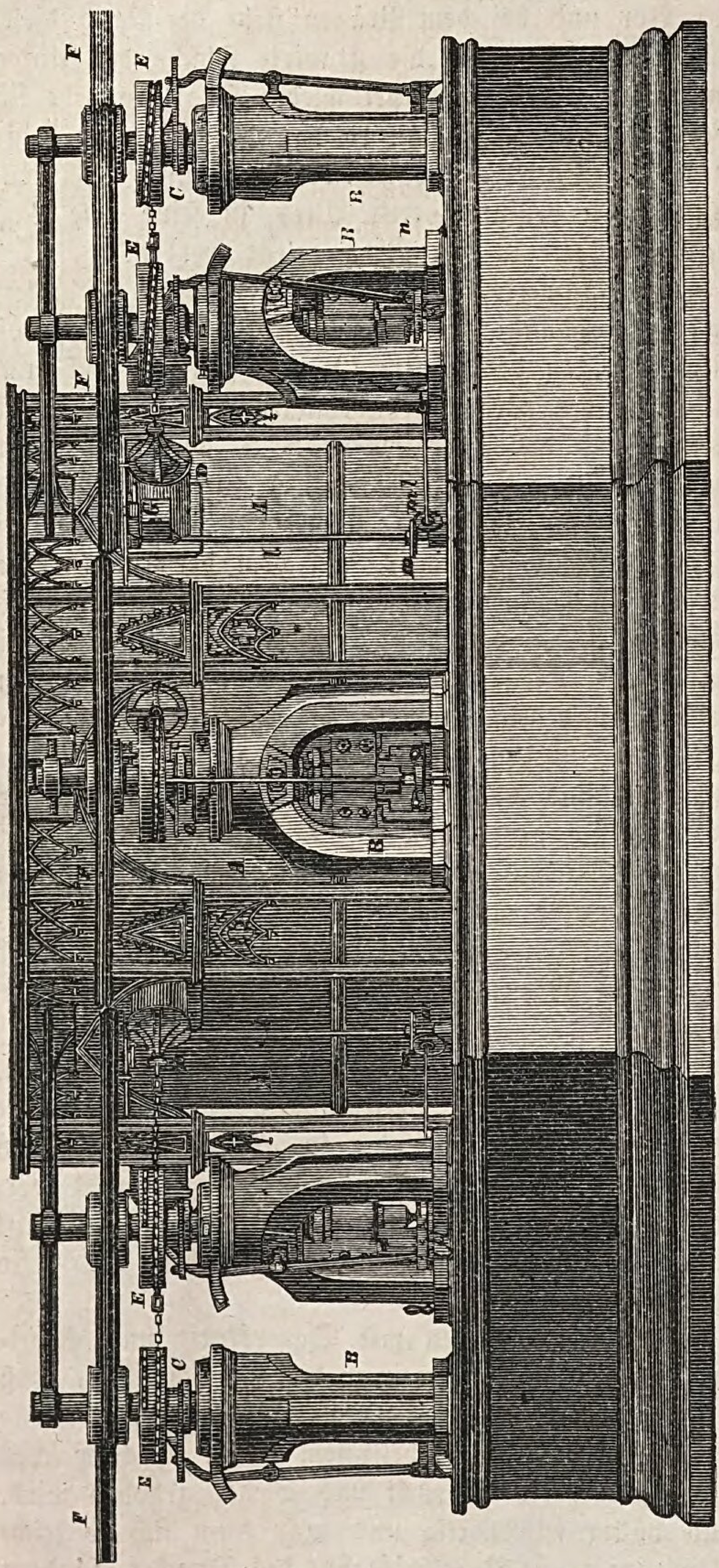
Das Einlegen der Münzplatten in den Prägring geschah bei den ältern Prägemaschinen mit der Hand, doch sind dabei, durch die große Schnelligkeit, mit welcher das Prägen selbst vor sich geht, häufig Unglücksfälle eingetreten; deshalb hat man bei den neueren Prägemaschinen einen mechanischen Zuführer angebracht, welcher durch die Prägeschraube mit bewegt wird und die Münzplatte unten in den Ring schiebt, die fertige Münze aber in einen nebenstehenden Korb schleudert, so daß der Arbeiter nur die Münzplatten in den Zuführer zu bringen, die fertigen aber fortzuschaffen hat.

Die hier beschriebene Prägepresse ist noch in vielen kleinern Münzstätten, außerdem aber auch für viele andere industrielle Zwecke thätig, um eine Menge Bedarfs- und Luxusgegenstände mittelst Stempeln oder in größern Hohlformen auszuprägen. Auch zur Erzeugung größerer Medaillen muß sie gebraucht werden, da diese bei ihren starken Erhabenheiten nicht mit einem Schlage gefertigt werden können, sondern wohl 6 — 8 Pressungen erhalten, zwischen denen sie immer aufs neue wieder abgeglüht werden müssen.

Die neuern großen Prägemaschinen arbeiten mit Dampfkraft und Hebeldruck, also ohne Stoß. Man kann sie im Allgemeinen dahin beschreiben, daß die Kraft auf ein mächtiges Schwungrad übertragen wird, von dessen Welle aus eine Kurbel mittelst Zugstange auf ein Kniehebelsystem wirkt, durch welches der Träger des obern Prägestempels abwärts gedrückt und wieder gehoben wird. Zuführung und Ablieferung sind völlig selbstthätig und man kann sich so leicht denken, daß sich hierbei nicht allein eine große Regelmäßigkeit des Druckes, sondern

auch eine bedeutend größere Schnelligkeit als mit der Schraube erzielen läßt. Der bewegliche Prägestempel braucht hierbei, da zu keinem Stoße ausgeholt werden muß, nur einen ganz kurzen Weg zu machen, woraus schon allein die Möglichkeit einer viel raschern Arbeit hervorgeht, wie sich auch erkennen läßt, daß man auf so kurzem Wege einen ungeheuern Hebeldruck erzeugen kann, der den Stoß völlig entbehrlich macht.

Fig. 211.

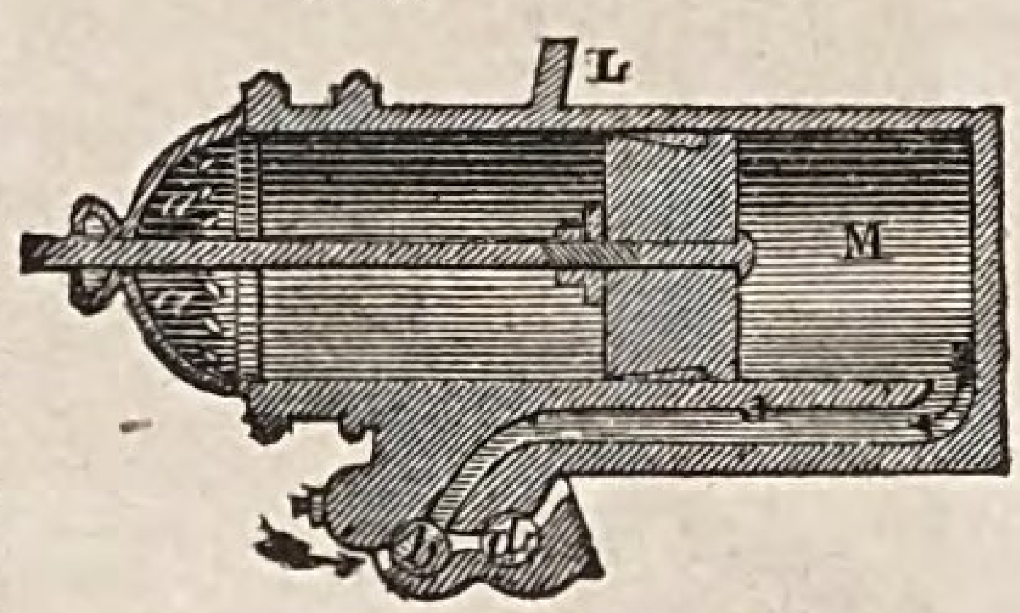


In einigen großen Münzwerkstätten hat man auf sinnreiche Weise den Druck der Luft benutzt, um die Bewegung der Prägemaschinen zu bewirken. Fig. 211 giebt eine Ansicht der Prägemaschine, welche der Engländer Hague für die Münze von Rio Janeiro in Brasilien construirt hat. Es stehen hier nämlich acht Prägestöcke in einem Kreise um den Recipienten A A A, in welchem mittelst einer Dampfmaschine durch Auspumpen beständig ein luftleerer Raum erhalten wird. Die Prägestöcke B B B sind von Gußeisen und fest mit dem Mauerwerk des Unterbaues verbunden. Die senkrechten Schraubenspindeln C C C bewegen sich in Schraubenmuttern, welche in dem obern Theile der Prägestöcke enthalten sind. E E sind große Köpfe an den Schrauben, von denen Ketten nach dem Kolben der Cylinder D D gehen, welche letztere mit dem

Recipienten verbunden sind, und diese Kolben bewirken die Bewegung der Prägeschrauben, wie wir weiter unten sehen werden. An jeder derselben ist ein Schwungrad F angebracht, welches durch seinen Schwung den Stoß der Schrauben vermehrt und zugleich mittelst Nägeln, die an demselben vorstehen, gegen Hebel stößt, die mit den Ventilen G verbunden sind und zu dem gehörigen Zeitpunkte des Kolbenspiels die Verbindung des Cylinders mit dem Recipienten bewirken. Während des Hinganges des Kolbens stehen nämlich die Cylinder mit dem Recipienten in Verbindung, während zur Zeit des Hergangs diese Verbindung aufgehoben ist, dagegen die atmosphärische Luft hinter den Kolben treten kann, was in Folge einer Ventilstellung stattfindet, die durch die oben erwähnten Nägel bewirkt wird.

Wir erklären nun noch die Einrichtung des Cylinders, welcher die Bewegung der Maschine bewirkt. Dieser Cylinder M (Fig. 212) besteht aus Messing, ist genau ausgebohrt, steckt bis zu dem Kranze L in dem Recipienten und in ihm bewegt sich der Kolben luftdicht. Durch die Löcher a a hat die atmosphärische Luft Zutritt, indem sie mit ihrem Drucke von 14 Pfund auf den Quadratzoll der Kolbenfläche wirkt. Wird nun hinter dem Kolben ein luftleerer Raum erzeugt, so muß die äußere atmosphärische Luft den Kolben bis an den Boden des Cylinders drücken, wodurch, wie schon bemerkt, die Schraubenspindel schnell hinabgetrieben wird und also kräftig aufstößt. Ist dies geschehen, so muß das Prägwerk wieder geöffnet werden, der Kolben also von dem hintern Ende des Cylinders sich wieder nach vorn hin bewegen, welche Bewegung durch das Zurückschnellen der Schraube bewirkt wird, das aber nur stattfinden kann, wenn der Luftdruck vor dem Kolben durch einen gleich großen Druck hinter demselben aufgehoben wird. Dies geschieht, indem man die Verbindung des Cylinders mit dem Recipienten unterbricht und atmosphärische Luft hinter den Kolben treten läßt, wodurch der Druck auf beiden Seiten des Kolbens gleich wird, dieser also der aufschnellenden Bewegung der Schraube folgen kann. Ist der Kolben wieder vorn angelangt, so wird durch die oben beschriebene Steuerung die Verbindung des Cylinders mit dem Recipienten wieder hergestellt und das Kolbenspiel beginnt von neuem. Diese abwechselnde Verbindung findet nun, ganz ähnlich wie bei dem Dampfhahne der Dampfmaschine, durch den Hahn b statt. Bei dem in Fig. 212 angedeuteten Stande des Hahnes kann die Luft, wie der Pfeil angiebt, in das Innere des Cylinders dringen; wird der Hahn aber um eine halbe Wendung gedreht, so daß die Durchbohrung in die Stellung kommt, wie die punktirte Linie andeutet, so ist die Verbindung mit der äußern Luft unterbrochen und die mit dem Recipienten der Luftpumpe wieder hergestellt, wo sie durch die Dampfmaschine ausgepumpt wird. Das Oeffnen und Schließen des Hahnes wird durch die Nägel am Schwungrade des Prägewerkes durch einen Hebel bewirkt. Der Hebelarm besteht aber nur aus Holz, damit, wenn durch irgend ein Versehen an der Maschine ein Widerstand sich ereignen sollte, der Hebel zerbrechen kann, worauf die Schraube sogleich still steht.

Fig. 212.



Wenn die Schraube einmal im Gange ist, so würde sie stets in Bewegung bleiben, so lange der Recipient luftleer ist; allein da es bei vielen Gelegenheiten nöthig wird, ein einzelnes Prägewerk außer Gang zu setzen, während die anderen fortarbeiten, so muß für jedes eine Ausrückung vorhanden sein. Dies ist dadurch möglich gemacht worden, daß man, getrennt von den sich bewegenden Theilen der Maschine, die Verbindung des Cylinders mit dem Recipienten dennoch aufheben kann, indem man einen zweiten Hahn d in der Communicationsröhre anbringt, welcher durch die Stangen l l, die Räder m m und den Griff n (s. Fig. 211) durch den Arbeiter von seinem Sitze vor dem Prägewerke aus geöffnet und geschlossen werden kann. Dieser Hahn dient zugleich zur Regulirung des Ganges der Schrauben, denn von der größern oder geringern Weite der Oeffnung, durch welche die Luft ausströmen muß, hängt sowohl die Geschwindigkeit, mit welcher sich der luftleere Raum im Cylinder bildet, als auch die größere oder geringere Gewalt ab, mit welcher der Kolben im Cylinder und mithin auch die Schraube bewegt wird.

Luckenbacher, Franz

Die Schule der Mechanik und Maschinenkunde zum Selbststudium für Laien und angehende Fachgenossen ; sowie als Leitfaden für Schulen

Leipzig 1857